

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DE PHARMACIE

Année 1920-1921

N° 6

SUR

L'ÉPURATION DES EAUX POTABLES

PAR LE CHLORE

INDICE DE CHLORE DES EAUX

THÈSE

pour l'obtention du Diplôme de Docteur de l'Université de Paris
(PHARMACIE)

Présentée et soutenue le 1^{er} juillet 1921.

PAR

Henri PECKER

Pharmacien-Major de 2^e classe,
Lauréat de la Faculté de Pharmacie de Paris
(1906 et 1907).

JURY { MM. DELÉPINE. . . . *Président.*
GUERBET *Professeur.*
SOMMELET . . . *Agrégé.*

COULOMMIERS

IMPRIMERIE ERNEST DESSAINT

1921

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DE PHARMACIE

Année 1920-1921

N° 6

SUR
L'ÉPURATION DES EAUX POTABLES
PAR LE CHLORE
—
INDICE DE CHLORE DES EAUX

—••••—
THÈSE

pour l'obtention du Diplôme de Docteur de l'Université de Paris
(PHARMACIE)

Présentée et soutenue le 1^{er} juillet 1921.

PAR

Henri PECKER

Pharmacien-Major de 2^e classe,
Lauréat de la Faculté de Pharmacie de Paris
(1906 et 1907).

JURY

{ MM. DELÉPINE. . . . *Président.*
GUÉRBET. . . . *Professeur.*
SOMMELET. . . . *Agrégé.*

COULOMMIERS

IMPRIMERIE ERNEST DESSAINT

—
1921



Personnel de la Faculté de Pharmacie

ADMINISTRATION

MM. H. GAUTIER, *Doyen*, O. ✱, ☉ I.
RADAIS, *Assesseur*, ✱, ☉ I.
G. DURSENT, *Secrétaire*, ✱, ☉ I.

PROFESSEURS

MM. GUIGNARD, Membre de l'Institut, C. ✱, ☉ I.	Botanique générale.
VILLIERS, ✱, ☉ I.	Chimie analytique.
N.,	Pharmacie galénique.
H. GAUTIER, O. ✱, ☉ I.	Chimie minérale.
RADAIS, ✱, ☉ I.	Cryptogamie.
BÉHAL, Membre de l'Institut, C. ✱, ☉ I.	Chimie organique.
PERROT, O. ✱, ☉ I.	Matière médicale.
COUTIERE, ✱, ☉ I.	Zoologie.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, ☉ I.	Physique.
GRIMBERT, ✱, ☉ I.	Chimie biologique.
LEBEAU, O. ✱, ☉ I.	Pharmacie chimique.
DELÉPINE, ✱, ☉ I.	Hydrologie et Hygiène.
GUERBET, ☉ I.	Toxicologie.

Directeur honoraire : M. GUIGNARD, C. ✱, ☉ I.

Professeur honoraire : M. MOUREU, O. ✱, ☉ I.

CHARGÉS DE COURS

MM. TASSILLY, ✱, ☉ I.	Minéralogie.
MARC HONNORAT, ✱, ☉ I.	Législation et Déontologie pharmaceutiques.
LUTZ, ☉ I.	Cryptogamie.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. BOUGAULT, ☉ I.	MM. TASSILLY, ✱, ☉ I.	MM. GORIS, ✱, ☉ I.
SOMMELET, ☉ I.	GUÉRIN, ☉ I.	LAUNOY, ☉ A.
DAMIENS, ☉ A.	LUTZ, ☉ I.	HÉRISSEY, ✱, ☉ I.

CHEFS DES TRAVAUX PRATIQUES

MM. DEFACQZ, ✱, ☉ I.	Chimie générale.
COUSIN, ☉ I.	Chimie analytique.
SOUÈGES, ☉ I.	Micrographie.
LEROUX, ☉ I.	Physique.
DEVAL, ☉ I.	Microbiologie.
JAVILLIER, ✱, ☉ I.	Travaux généraux de 4 ^e année.

Chef du Laboratoire des Examens pratiques : M. JAVILLIER, ✱, ☉ I.

Bibliothécaire en Chef : M. DORVEAUX, ☉ I.

A MA FEMME
ET A MES ENFANTS
BIEN-AIMÉS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552821_0083

SUR L'ÉPURATION DES EAUX POTABLES

PAR LE CHLORE

INDICE DE CHLORE DES EAUX

INTRODUCTION

Lorsque les opérations militaires de la Grande Guerre prirent en 1914 l'allure particulière de guerre de stationnement qu'elles devaient garder presque jusqu'à la fin, la nécessité de certains organismes spéciaux se fit jour. Le groupement de plusieurs centaines de milliers d'hommes, le long d'une courtine puissamment défendue, face à une agglomération armée aussi nombreuse, devait modifier profondément les conditions d'existence de toute la zone occupée en longueur et en profondeur.

L'étude de ces conditions dut retenir l'attention des Etats-Majors, qui devaient pourvoir à l'installation des troupes, dans des cantonnements le plus souvent improvisés, loin de toute habitation ou de groupes d'habitation suffisants. On conçoit donc qu'un des principaux problèmes d'hygiène à résoudre fut celui de *l'eau*, élément indispensable à la vie de toute agglomération.

N'est-ce pas l'eau, son mode de distribution, son abondance, sa qualité, qui, en première analyse, déterminent sur le sol jusqu'alors inhabité, la fixation de l'homme? Les premiers groupements humains sont tous déterminés par la proximité d'un point d'eau. La guerre moderne devait renouveler ces besoins des sociétés primitives, mais avec cette différence qu'on pouvait utiliser les ressources de la science géologique, biologique et chimique, pour y faire face d'une manière rapide et sûre.

Il importait de constituer dans chacune des armées qui s'étaient organisées dans les secteurs de défense du front fran-

gais, des formations nouvelles, capables d'utiliser ces connaissances, en les appliquant à la distribution de l'eau potable à la troupe.

C'est aux *Laboratoires d'armée* que furent attribués, entre autres problèmes d'hygiène et de prophylaxie, l'étude, le choix et la surveillance des eaux d'alimentation (Novembre 1914).

La zone d'action de ces organes est celle de l'armée à laquelle ils sont affectés et s'étend sur les troupes de l'Avant, les services et cantonnements de l'Arrière. Il est donc possible à une telle formation d'étudier l'ensemble des eaux de toute une région et d'en dresser comme le cadastre hydrologique. Chaque échantillon d'eau prélevé est soumis à la double analyse bactériologique et chimique : la première détermine la teneur en germes et leur différenciation ; la seconde, son origine, son habitat, ses pollutions éventuelles. Si les circonstances le permettent et ce fut le cas du Laboratoire d'Armée n° 6, où nous fûmes chargé de la Section de Chimie, durant la longue période de stationnement entre Oise et Aisne, la double analyse d'un même échantillon peut être renouvelée à des dates régulières. Ces analyses répétées permettent ainsi d'étudier la valeur intrinsèque d'une eau et d'en suivre les transformations.

Une telle abondance de documents, dans une même région, ne pouvait être réalisée que dans les conditions particulières, où nous ont placé ces quatre années de guerre. Nous voudrions en tirer certaines observations qu'il nous paraît intéressant de présenter dans ce travail et envisager successivement :

- 1° L'interprétation des résultats des analyses d'eaux ;
- 2° l'utilisation quantitative du chlore dans l'épuration des eaux ;
- 3° la détermination de l'*indice de chlore* dont nous avons proposé la recherche, comme étant une donnée hydrologique, susceptible de renseigner sur la valeur pratique d'une eau et de permettre son épuration immédiate par le chlore de l'hypochlorite de sodium titré ;
- 4° certaines conditions à observer dans l'hypochlorisation des eaux aux armées.

Qu'il me soit permis, au début de cette étude, de témoigner toute ma gratitude au distingué Médecin-Chef du Laboratoire d'Armée n° 6, M. le Médecin-Major de 1^{re} Classe S. COSTA, qui, au cours d'une collaboration de quatre années, nous a si précieusement aidé de ses lumières et permis d'utiliser les résultats bactériologiques que nous aurons à citer.

Il nous est agréable de remercier M. le Professeur DELÉPINE du bon accueil qu'il a réservé à nos projets de thèse et des sûrs conseils qu'il nous a donnés pour sa rédaction.

Je remercie également M. le Professeur GUERBET et M. le Professeur agrégé SOMMELET qui ont bien voulu accepter de juger ce modeste travail.

J'unis dans un même sentiment de reconnaissance mes maîtres et camarades du Service de Santé de l'Armée qui m'ont inspiré et guidé dans ces recherches, trop heureux si cette étude pouvait leur être de quelque utilité dans l'accomplissement de leur tâche.

PREMIÈRE PARTIE

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ANALYSES D'EAU

Le nombre d'analyses d'eaux pratiquées dans la zone d'armée, dont le territoire en quatre années n'a guère embrassé que le département de l'Oise et les arrondissements limitrophes, a atteint un chiffre considérable. Nous avons pu porter nos recherches sur près de 1.700 échantillons d'eaux, ce qui, à la vérité, constitue un élément de nouveauté dans les études hydrologiques.

De l'étude comparative des résultats bactériologiques et chimiques fournis par ces échantillons, recueillis presque exclusivement dans la région Aisne-Oise-Somme, qui appartient géologiquement au Bassin Parisien, où prédominent les terrains sableux et calcaires, nous avons dégagé quelques observations importantes.

La lecture des chiffres fournis par l'analyse biologique d'une part et les indications bactériologiques d'autre part, permettent de formuler les constatations suivantes.

1. — L'ANALYSE CHIMIQUE, TÉMOIN DE L'ORIGINE DES EAUX

Nous signalerons d'abord l'extrême variation de la composition chimique des eaux d'une même localité, lorsque celle-ci est alimentée par des puits forés dans le sol, à petite ou moyenne profondeur. Des nombreux relevés d'analyses, il n'est pas possible de déceler leur origine commune. Alors que, par exemple, les chlorures oscillent de 32 à 236 milligrammes par litre, les nitrates de 0 à 150, l'alcalinité (en CO^3Ca) donne des valeurs com-

prises entre 270 et 445. Le chiffre des chlorures **croît d'ordinaire** avec celui des nitrates; la **matière organique** et l'alcalinité varient dans des proportions tout à fait indéterminées. Quant à l'ammoniaque, les eaux n'en renferment guère que des traces et cette donnée ne saurait permettre d'apparenter certaines eaux.

Il est par suite fort difficile de dégager des analyses chimiques des eaux d'une ou plusieurs localités voisines, comme on a voulu le faire, une formule moyenne type dont les divers échantillons examinés ne seraient que des modifications dues à l'apport de souillures ou d'infiltrations étrangères.

COMTE (1), de l'ensemble des résultats des analyses chimiques des eaux des secteurs d'Argonne, pense pouvoir déterminer des coefficients précis qui permettront d'arriver à des conclusions exactes et indiscutables. Après avoir signalé, comme témoin de pollution animale, la présence des chlorures, de la matière organique et de l'ammoniaque, en sus de ceux imputables aux éléments naturels de la terre, il fait doser les nitrites dès le prélèvement, puis 48 heures après et conclut en cas de variation appréciable, à l'intensité de la vie microbienne. Mais les eaux contenant des nitrites sont rares, 3 à 4 pour 100, et sont d'ordinaire rejetées de l'alimentation.

Il dresse un tableau régional fixant les limites de potabilité des eaux, en fonction de leur composition chimique.

MAILLARD (2), qui a opéré dans un secteur du front, insiste très curieusement sur la valeur de la méthode chimique pour la prospection des eaux potables.

Il trouve que l'analyse chimique peut très bien servir de critérium analytique des contaminations bactériennes et assure ce rôle en particulier aux variations des chlorures. Il détermine la constante en chlorures des eaux d'un bassin donné et peut ensuite porter un jugement sur les eaux prospectées.

L'auteur trouve que :

1° Quand la méthode chimique suspecte une eau, il est inutile de faire l'analyse bactériologique.

(1) *J. Ph. et Ch.* [7], T. XIV, p. 135, 1916.

(2) *Bull. Acad. Méd.*, T. LXXIX, n° 9, séance du 5 Mars 1918, p. 198.

2° Quand la méthode chimique trouve une eau bonne, il est rare qu'elle ne le soit pas, au point de vue des germes.

3° S'il y a divergence, c'est la méthode bactériologique (1) qui est trop sévère et qui d'ailleurs peut faire une colimétrie erronée, attribuant 1.000 *B. Coli* par exemple au litre, au lieu de 100.

4° La méthode chimique est d'une grande précision; elle décèle la pollution fécale avec autant de facilité que la méthode bactériologique; elle a deux avantages : elle est rapide et facile.

De même, MALMEJAC (2), revenant sur une idée qui lui est chère, dit qu'il a éprouvé, en Champagne et Argonne, sa « méthode des chlorures », clef de voûte de l'interprétation des résultats. Il appelle *chlore normal* pour une eau et un terrain donné la quantité de chlore que ce dernier cède constamment à l'eau, en dehors de toute souillure. Il effectue également la recherche de la matière organique et en observe les variations simultanément avec les chlorures.

J'avoue que, pour ma part, je n'ai jamais pu arriver, malgré beaucoup de bonne volonté, à systématiser ainsi mes résultats et que les variations dans la composition des eaux d'alimentation des régions comprises entre Somme, Oise et Aisne (Ile de France) sont beaucoup plus complexes. Pour quelques résultats conformes aux données de ces auteurs qui exposent là une théorie seulement probable et surtout facile, le plus grand nombre offre des chiffres tels que la seule analyse chimique ne permet pas de conclure.

Il est probable que cette manière de voir peut s'appliquer, lorsqu'il s'agit de nappes profondes; or celles-ci n'alimentent que très rarement les villages de l'Ile de France; toutefois l'influence perturbatrice de la valeur du sol avoisinant n'est pas négligeable, si l'on n'a pas à faire à des puits tubés ou soigneusement cimentés.

(1) De 1890 à 1916, il a été produit plus de 200 travaux sur la recherche et la signification du *B. Coli* dans les eaux, sans qu'il ait été possible de trouver une solution définitive à ce problème (importance de la fréquence dans une certaine proportion, divergences dans sa détermination).

(2) *J. Ph. Ch.* [7], XXI, 1920, p. 263.

II. — DISCORDANCE APPARENTE DES RÉSULTATS BACTÉRIOLOGIQUES ET CHIMIQUES

Une seconde constatation, c'est l'apparente discordance fréquente entre les examens bactériologiques et chimiques des eaux d'une même localité. Alors que parfois, pour des eaux peu chlorurées (de 0 à 30 milligrammes de NaCl) et de composition assez voisine, l'apparition des bactéries putrides et du colibacille se traduit par une très légère augmentation des chlorures (quelques milligrammes), ceux-ci, tout aussi souvent, ne varient pas pour une pollution égale.

Pour des eaux de composition différente, comme c'est la règle presque générale, la présence du colibacille est indépendante de la quantité des chlorures.

Si l'on apprécie la potabilité des eaux par la proportion absolue de chlore qu'elles contiennent, on voit que sur 1.673 échantillons :

990 renferment moins de 50 milligrammes de NaCl par litre.

638 renferment plus de 50 milligrammes, soit environ 60 p. 100 d'eaux faiblement chlorurées.

Sur ces 990 échantillons, contenant moins de 50 milligrammes de NaCl et dont la potabilité peut être envisagée, si les autres composants ne s'y rencontrent pas au delà des limites admises, on relève les particularités suivantes :

35 renferment des nitrites.

69 ont une teneur en matière organique (alcaline) supérieure à 50 milligrammes.

Chimiquement, sur ces 990 échantillons faiblement chlorurés, 50 peuvent être considérés comme suspects, soit environ 5 p. 100. D'autre part, si l'on juxtapose les résultats bactériologiques, on remarque que le pourcentage des eaux suspectes ou non potables pour ces eaux peu chlorurées s'élève à :

Eaux de 0 à 30 milligrammes NaCl . . 74,2 p. 100

Eaux de 30 à 50 milligrammes NaCl . . 74,8 p. 100

soit une moyenne de 25,5 p. 100 seulement d'eaux potables.

III. — LA TENEUR EN CHLORURES N'EST PAS UN FACTEUR SUR DE POTABILITÉ

La proportion d'eaux bactériologiquement potables, parmi les eaux chlorurées au delà de 50 milligrammes, est naturellement moins élevée mais le pourcentage s'élève toutefois pour les :

Eaux de 50 à 100 milligrammes à. . . .	13,4 p. 100
Eaux au delà de 100 milligrammes à. .	8,9 p. 100

Une proportion très élevée de chlorures peut donc fort bien s'allier avec la valeur bactérienne de l'eau. On rencontre notamment de ces échantillons dans des localités où des eaux franchement souillées ne renferment qu'une teneur en NaCl inférieure à 50 et même 30 milligrammes. Les indications fournies par les autres éléments montrent simplement la complexité de la composition chimique des eaux d'une même région.

ROLLAND (1), qui a effectué plus de cinq cents examens chimiques dans une portion de notre secteur d'armée, relate des observations analogues aux nôtres; la plupart de ces échantillons, à composition chimique très défectueuse, proviennent de nappes où les eaux ont atteint le stade final de leur évolution organique à travers des terrains filtrants.

Chlorures, nitrates, sont les témoins de contaminations anciennes; ammoniacque, nitrite, matière organique, de contaminations récentes.

BRULÉ et HAZARD (2), de leur côté, ont fait les mêmes constatations, sur un secteur de 60 à 70 kilomètres d'étendue, appartenant géologiquement aux terrains tertiaires du bassin de Paris : ils relèvent les contradictions dans les conclusions des analyses bactériologiques et chimiques de 882 analyses d'eau. 290 présentent des conclusions opposées : 21 p. 100 chimique-

(1) *J. Ph. Ch.* [7] XX, 1919, p. 314.

(2) *Presse Médicale*, n° 23, 22 Avril 1918, p. 211.

ment bonnes étaient bactériologiquement mauvaises; 8 p. 100 chimiquement mauvaises étaient bactériologiquement bonnes.

En résumé, il semble que les valeurs données par l'analyse chimique des eaux d'alimentation, dépendant de la nature du sol qui les baigne, leur potabilité soit fonction de l'imperméabilité du terrain vis-à-vis des germes.

1° Une composition chimique défectueuse, telle qu'elle résulte de l'analyse biologique ordinairement pratiquée, n'est que l'indice d'une contamination voisine permanente que peut corriger la bonne filtration du sol. Une *très faible* quantité d'eaux de ruissellement, entraînant des germes et des sels solubles pouvant provenir de boues, immondices, fumiers, etc., contaminera une importante masse d'eau profonde; la composition chimique de celle-ci en chlorures, nitrates, matières organiques variera à peine.

2° De même, une *forte proportion* d'eaux de surface impures, traversant un terrain filtrant parfaitement, modifiera la composition chimique de la nappe profonde, mais n'y apportera aucun élément de pollution bactérienne : les chiffres des chlorures, des nitrates, de la matière organique pourront devenir élevés et dépasser notablement les maxima adoptés, mais la valeur bactériologique de l'eau n'aura pas varié. On peut imaginer ainsi, pour une même localité, dans un secteur où la nappe aquifère a la même origine géologique, toute une série d'apports d'eaux de surface, variant en quantité et en qualité bactérienne, selon la nature des terrains où viennent émerger les eaux des divers puits ou sources. Ainsi s'expliquent la réelle diversité des eaux d'alimentation que révèlent les analyses et parfois l'apparente discordance des résultats bactériologiques et chimiques dont l'ensemble seul permet de tirer des déductions valables.

Toute interprétation d'analyse d'eau, fondée sur les seules données de l'analyse chimique, telle qu'on la pratique pour l'examen de la potabilité de l'eau, est fatalement incertaine.

Les limites des différentes substances dissoutes dans l'eau, témoins des souillures du sol, telles que les nitrates, les nitrites,

l'ammoniaque, la matière organique et tout particulièrement les chlorures, sont à ce point de vue tout à fait arbitraires. BERTARELLI (1), citant le cas des eaux presque pures de la rivière Sangone, dont l'infection bactérienne est très forte, défend la même thèse et conclut que les indices chimiques habituels de pollution des eaux potables n'ont qu'une valeur purement doctrinale.

La présence de ces divers composés, en faible proportion dans les eaux, indique d'ordinaire leur origine profonde, mais ne saurait renseigner sur les pollutions éventuelles auxquelles les soumet le terrain d'émergence.

Or, le danger hydrique réside uniquement dans ces pollutions : leur recherche est le but et la raison d'être des analyses d'eaux. Au reste, les caractères organoleptiques d'une eau (limpidité, fraîcheur, goût, odeur) si l'on faisait abstraction de ce danger, ont une importance pratique bien supérieure à celle de sa composition chimique. A ce point de vue, celle-ci est incomplète, elle doit comme nous allons le montrer, comporter la recherche de la quantité de chlore absorbé. Cette nouvelle détermination nous permettra seulement de ne pas attendre l'analyse bactériologique et de l'utiliser pour une épuration éventuelle par le chlore.

(1) BERTARELLI, *Revista di Ingegneria sanitaria e di Edilizia Moderna*, X, 21, 15 Novembre 1915.

DEUXIÈME PARTIE

ÉPURATION DES EAUX. -- DÉTERMINATION DE LA DOSE UTILE DE CHLORE. -- INDICE DE CHLORE

I. — LE CHLORE AGENT D'ÉPURATION DES EAUX

Lorsqu'il y a possibilité de choisir entre les divers points d'eau d'un cantonnement ou les forages d'essai, pratiqués dans la zone de l'Avant, pour établir des postes de chargement, c'est la qualité bactérienne de l'eau, toutes conditions égales, qui détermine le choix. Mais il arrive parfois qu'il est impossible d'y procéder, soit que toutes les eaux examinées soient reconnues souillées, soit que les forages d'une même région atteignent une seule nappe d'eau, contaminée ou sujette à des contaminations de surface.

C'est ici qu'intervient la nécessité d'épurer l'eau avant de la livrer à la consommation. Aucun problème d'hygiène militaire n'a été plus discuté au cours de cette campagne; de nombreuses solutions ont été préconisées qui ne diffèrent que sur les modalités d'un même principe.

Une épuration n'a de valeur qu'autant qu'elle est effective et ne modifie pas les caractères organoleptiques de l'eau. De plus, son efficacité doit être obtenue par un procédé peu coûteux, rapide et d'application facile.

On conçoit tout de suite que ce n'est ni à la chaleur ni à l'électricité, dont l'emploi comporte des installations coûteuses et encombrantes, qu'on aura recours pour l'épuration des eaux.

En fait, ce sont les seuls procédés chimiques qui ont été adoptés durant cette guerre. Parmi les produits utilisés, citons : le chlore, l'iode, le permanganate de potassium, sous une forme appropriée. Mais c'est presque exclusivement le chlore sous la forme d' « Extrait de Javel » commercial que l'on a employé aux armées, où le nom impropre et mal choisi de « Javellisation » est devenu pour ainsi dire synonyme d'épuration.

C'est aux Laboratoires d'Armées qu'il appartient de surveiller les résultats de l'hypochlorisation ordonnée par le Service de Santé d'une façon générale dans toute la zone occupée. Mais cette opération, dont le principe est irréprochable, fut assez souvent mal conduite, soit par négligence, soit par manque de conviction, soit surtout par ignorance des conditions nécessaires à une épuration rationnelle.

Nous nous sommes plus spécialement attaché à résoudre ce problème : 1° en recherchant la quantité optima de chlore nécessaire et suffisante à l'épuration d'une eau donnée ; 2° en utilisant une solution chlorée de titre donné, plus stable et de caractères organoleptiques plus satisfaisants que les produits commerciaux, dans des conditions déterminées.

Ce sont ces recherches que nous allons maintenant exposer et que nous apportons comme une solution pratique de l'épuration des eaux en campagne.

II. — NÉCESSITÉ D'UNE DOSE UTILE DE CHLORE HISTORIQUE DE LA QUESTION

Des expériences anciennes et reprises par plusieurs auteurs, au cours de la campagne, ont établi la valeur bactéricide du chlore des hypochlorites. Sans refaire l'historique de la question, il nous paraît cependant nécessaire de le reprendre, en envisageant le côté spécial de la dose de chlore utile, puisque ce travail vise tout particulièrement la quantité de chlore optima nécessaire à l'épuration pratique des eaux d'alimentation.

C'est TRAUBE (1) qui, en 1894, entreprit les premiers essais

(1) *Zeitschrift für Hygiene*, T. XVI, 1894, p. 149.

d'épuration de l'eau par le chlore et qui conclut que des eaux fortement polluées pouvaient être rendues stériles par l'addition de chlorure de chaux dans la proportion de 1 mgr. 065 de Cl par litre. SICKENBERGER et KAUFFMANN tuent les germes en 5 minutes avec 5 milligrammes. BASSENGE (1), comparant les milieux de contrôle, montre que les résultats ne sont pas toujours parfaits et qu'il y a lieu d'employer 9 mgr. 78 pour 10 minutes de contact et 10 mgr. 8 pour une heure. HUNERMANN et DEITER élèvent la dose à 40 milligrammes et enlèvent l'excès de chlore qui donne un goût désagréable à l'eau, par le sulfite de soude. ENGELS (2) enfin, utilisant la méthode bactériologique par enrichissement, trouve que 106 milligrammes de Cl sont nécessaires pour la stérilisation. Cependant, DUYCK, à la même époque, met en pratique ces recherches de laboratoire à la Station des eaux de Middelkerke; il emploie un mélange de chlorure ferrique et de chlorure de chaux (0 mgr. 8 Cl environ) et obtient avec cette faible dose les résultats les plus satisfaisants.

Tandis qu'en Allemagne, on abandonne devant ces discordances le chlorure de chaux, les principales villes de l'Amérique du Nord vont l'utiliser à doses minimales avec succès. J.-A. JOHNSON expérimente d'abord à Chicago les effets de l'hypochlorisation sur les animaux, puis à New-Jersey il l'applique à l'alimentation urbaine : 180.000 mètres cubes d'eau du fleuve Rockaway sont additionnés de 2, puis de 1 mgr. 4 de chlore; bientôt la dose est abaissée à 0 mgr. 2 par litre; le temps de contact était celui de la durée d'amenée des eaux à 37 kilomètres de là; elles ne renfermaient plus de *B. coli*.

Cette pratique s'étend, à l'occasion d'épidémies typhiques qui sévissent dans plusieurs grands centres, que les eaux aient été filtrées préalablement ou non. Parfois, il est fait usage de coagulants, comme la chaux, le sulfate de fer, l'alun, lorsqu'il s'agit d'eaux de rivière qui ont besoin d'être décantées et clarifiées. Les quantités de chlore actif utilisées varient d'une ville à l'autre sans que les doses toujours relativement faibles soient

(1) *Zeitschrift für Hygiene*, T. XX, 1895, p. 227.

(2) *Centralblatt f. Bakter. Orig.*, T. XXXIII, 1902, p. 495.

justifiées autrement que par les conclusions favorables des analyses bactériologiques et les résultats hygiéniques obtenus.

Une rapide revue par ordre chronologique des études parues dans les diverses publications relatées au *Bulletin de l'Office International d'Hygiène publique* va nous fixer sur les proportions de chlore utilisées dans l'épuration pratique des eaux.

W.-P. MASON (1) montre l'abaissement progressif du nombre de germes obtenu par des doses croissantes de chlorure de chaux (2).

Ca. (OCl)² en milligr., par

litre	0	0,51	0,85	1,70	2,41	4,25	8,50
Nombre de germes . . .	100.000	400	320	175	100	95	45

soit de 0 mgr. 17 à 2 mgr. 8 de chlore, par litre d'eau.

SHENTON (3) signale qu'un taux de 0 mgr. 2 à 1 milligramme de Cl est suffisant en pratique et bien plus faible que celui adopté habituellement (1 mgr.) à New-Jersey.

J.-C. TRESH (4) utilise des doses de 1 milligramme à 1 mgr. 4 durant 15 à 60 minutes.

A Hartford, une dose de 0 mgr. 51 à 2 mgr. 06 de chlore abaisse le nombre de bactéries de la rivière Connecticut dans la proportion de 95 p. 100. A Nashville (Tennessee), les eaux de la rivière Cumberland sont, après traitement à l'alun (0 gr. 020), additionnées de 0 gr. 020 de chlorure de chaux par litre (environ 7 milligrammes Cl). A Quincy (Illinois), la réduction du nombre des germes d'eaux traitées au sulfate de fer et à la chaux est portée de 87,7 à 97,7, soit 10 pour 100 (5). Nous noterons les chiffres ci-après :

Erié (lac Erié), 0 mgr. 3 Cl par litre,

Lakeside (lac Erié), 0 mgr. 2 à 0 mgr. 5 (après addition d'alun).

Poughkeepsie (N.Y.), 0 mgr. 5 (avec filtre lent).

Baltimore, Corning (N.Y.), 0 mgr. 5.

(1) *Technique Sanitaire*, Août 1909, p. 178.

(2) Pour convertir en milligrammes de Cl. les doses de chlorure de chaux que signalent seules les revues américaines j'ai supposé que cet hypochlorite contenait environ 33 à 35 p. 100 de chlore.

(3) *The Surveyor*, XXXVI, n° 293, 24 Septembre 1909.

(4) *Indian Public Health*, Février 1910, p. 293.

(5) D'après *Engineering News*, 7 Avril 1910.

Harrisburg (Pensylvanie), 0 mgr. 5 (après addition d'alun).

Montréal (Canada), 0 mgr. 6 à 0 mgr. 9.

Levis, 0 mgr. 7.

Minneapolis (Minnesota), 0 mgr. 6 à 1 milligramme.

Quincy (Illinois), 0 mgr. 6 à 1 milligramme.

Kansas City (Missouri), 1 milligramme à 1 mgr. 25.

Cumberland, 1 mgr. 55, (après addition d'alun).

Une circulaire publiée par *The Ontario Provincial Board of Health* (1), donne la prescription suivante : dissoudre une cuillerée à café de chlorure de chaux dans une tasse à thé pleine d'eau; diluer cette solution avec le volume de 3 tasses à thé et ajouter une cuillerée à café de cette solution par 10 litres d'eau de boisson. La quantité de chlore mise en œuvre est d'environ 4 à 5 milligrammes de Cl par litre, suffisante pour détruire en 10 minutes tous les germes typhiques et dysentériques et susceptible de disparaître rapidement. Cette méthode a été utilisée avec succès sur l'eau de la baie de Toronto polluée artificiellement avec des millions de bactéries. On remarque toute l'imprécision de cette méthode qui utilise une dose élevée de chlore et affirme simplement la disparition de l'excès.

IMHOFF et SAVILLE (2), étudiant l'emploi du chlorure de chaux dans l'épuration des eaux potables de l'Amérique du Nord, relèvent que la dose moyenne employée est de 1 p. 350.000 (soit environ 1 milligramme Cl par litre).

F.-H. MARSHALL (3), signale qu'à Ottawa (Nébraska), on traite l'eau du Missouri par 0 mgr. 3 de Cl après addition de 0 gr. 028 d'alun par litre.

En 1910, les quantités employées ont varié de 0 mgr. 5 à 1 milligramme Cl par litre (4).

En Angleterre, à Shrewsbury (Comté de Shrop), on utilise après filtration une dose de 0 mgr. 5 Cl; à Horn-Sea, sans filtration, 1 à 2 milligrammes.

R.-R. GRAHAM et G.-S. NASMITH (1) citent l'emploi de une

(1) *The Surveyor*, 25 Novembre 1910, p. 707.

(2) *J. fur Gasbel. u. Wasservers*, 3 Décembre 1910, p. 1119.

(3) *Engineering News*, 6 Avril 1911, p. 399.

(4) *Engineering Record*, 4 Mai 1911, p. 476.

livre et demie de chlorure de chaux pour 400.000 gallons, soit à peu près 0 mgr. 5 par litre.

En Allemagne, lors de la longue période de sécheresse de 1911, on essaya, dans le bassin de la Ruhr, pour l'épuration des eaux polluées, le traitement par le chlore dont la pratique américaine avait consacré le succès. A Langschede, on utilise une dose de 0 mgr. 67 de chlore et on ajoute après un contact assez long, 0 gr. 025 d'hyposulfite de soude par litre; à Duisbourg, 0 mgr. 52 de Cl sans hyposulfite.

C'est à la même époque, du 1^{er} au 23 Août 1911, que l'on eut recours au chlorure de chaux pour l'épuration des eaux de la Marne, qu'on avait été obligé de mêler aux eaux de source alimentant les réservoirs de la Ville de Paris. Déjà, en France, cette méthode avait été employée pour les eaux de la petite ville de Lectoure (Gers) et par la suite le fut à Nice, Avignon, Marseille, Toulouse, etc.

JENWINGS (2) montre les progrès rapides de ce mode d'épuration et évalue en 1912 à 350 le nombre de villes qui l'utilisent dans l'Amérique du Nord.

Toutefois, à Reusslaer (N.Y.) et à Charleston (Caroline du Sud), on signale des insuccès avec une dose de 1 mgr. 4 de Cl; on constate même une pullulation plus grande de germes après traitement.

PLUCKER (3), par ailleurs, met en doute l'efficacité de ces épurations, obtenues avec des doses de 1 mgr. 5 à 15 mgr. 4 de Cl, car, en Allemagne, avec des doses de 40 milligrammes en 10 minutes, on n'a pas toujours pu détruire avec certitude tous les germes pathogènes. PLUCKER vise ici, semble-t-il, la disparition totale des spores et des germes inclus dans des particules solides, la stérilisation absolue de l'eau et non son épuration.

GRIMM (4), devant les résultats pratiques obtenus, essaie de concilier les deux thèses opposées; il montre que les conditions d'expérimentation ne sont pas les mêmes au laboratoire et dans

(1) *Journal of the Roy Army Med. Corps.*, XVII, n° 1.

(2) *Engineering Record*, 1912, p. 297.

(3) *J. für Gasbel u. Wasservers.*, 22 Avril 1911, p. 285.

(4) *Mitt. aus d. K. Prüfungsanstalt f. W.*, Berlin, T. XVI, p. 297.

les distributions urbaines; dans les eaux de surface, les bactéries sont plus âgées, peu vigoureuses, une sédimentation s'opère dans les réservoirs et les canalisations, par leurs rugosités, jouent un rôle réel d'arrêt; les phénomènes d'auto-purification agissent aussi pour diminuer la résistance des bactéries à l'action stérilisante du chlore.

Nous résumerons l'action du chlore en disant qu'à de très faibles doses (quelques dixièmes de milligrammes à quelques milligrammes par litre), il provoque :

1° La disparition du colibacille et des germes pathogènes de résistance sensiblement identique (bacilles typhique, paratyphique et cholérique);

2° la diminution du nombre des germes (bactéries putrides, saprophytes divers, moisissures, etc...);

ce qui équivaut sinon à une stérilisation complète, par la disparition totale des germes et spores vivant dans l'eau, opération difficile à obtenir avec les seuls procédés chimiques et au surplus inutile, mais à une véritable épuration de l'eau, par la destruction des germes pathogènes susceptibles de contaminer l'homme par la voie digestive.

Or, l'action du chlore sur les eaux d'alimentation s'exerce à la fois sur ces substances vivantes et sur les corps organiques et minéraux qui y sont dissous. Les analyses hydrologiques montrent toute la variété de ces éléments : les réactions qu'entraîne la présence du chlore sont nombreuses et complexes et laissent entrevoir toute une série de transformations par oxydation, substitution ou addition halogénée; celles-ci varieront nécessairement avec la composition microbienne et chimique de chaque eau, en quantité et en qualité.

Dans ces conditions, on comprend qu'il soit indispensable de fixer approximativement la quantité de chlore optima pour l'épuration de chaque eau.

Jusqu'ici, cette préoccupation n'avait été envisagée que d'une façon sommaire et l'on s'était borné à des considérations générales sur l'action du chlore au sein des eaux, en dehors de la destruction de ses divers germes.

III. — COMMENT CALCULER LA DOSE UTILE DE CHLORE?

C'est la présence de matières organiques dans les eaux, qui a attiré tout de suite l'attention des expérimentateurs, lorsqu'il s'est agi de proportionner la quantité de chlore aux variations de ces substances.

LODE (1), à la suite des expériences de Traube, avait remarqué qu'il suffisait de la présence d'une petite quantité de matière organique dans l'eau pour qu'une dose de 1 milligramme de Cl fût sans effet.

J.-C. TRESH (2) fait de même cette remarque que, si l'eau contient beaucoup de matières organiques, il faudra beaucoup plus de chlore.

G.-A. JOHNSON (3), énonçant les avantages et les inconvénients du traitement des eaux par le chlorure de chaux, cite parmi ceux-ci : son inaction sur les substances organiques, les difficultés dans le dosage du volume de Cl à ajouter quand les eaux renferment des corps réducteurs ou facilement oxydables.

S.-H. HILL insiste sur l'influence de la teneur en matières organiques des eaux à épurer, quant à la valeur désinfectante de l'hypochlorite et limite l'usage de celui-ci aux eaux relativement propres : une dose de 5 milligrammes par litre abaisse le nombre de germes, mais ne s'oppose pas à la pullulation de ceux que protégeait une enveloppe de matière organique. Dans une étude résumée par le *Bulletin de l'Office International d'Hygiène* (4), l'auteur déplore la difficulté où l'on se trouve de proportionner la quantité de chlore à l'état des eaux, et pense qu'elle est en relation avec les dimensions des particules solides microscopiques en suspension dans l'eau plutôt qu'avec le degré de turbidité.

SCHWARZ et NACHTIGALL (5) disent que, lorsqu'on voudra utiliser

(1) *Archiv. für Hygiene*, T. XXIV, 1895, p. 236.

(2) V. Note (4) p. 20.

(3) *Engineering Record*, 1910, p. 321.

(4) *Op. cit.*, 1911, p. 491.

(5) *Gesundheits Ingenieur*, 30 Mars 1912, p. 256.

le chlorure de chaux pour épurer des eaux de surface, de composition variable, on devra faire des essais préliminaires si l'on veut éviter des déboires certains et en tout cas, faire suivre ce traitement d'une filtration sur sable, pour éliminer l'odeur.

Dans une étude sur la destruction des germes dans l'eau potable par des doses minimales d'hypochlorite de chaux, ANTONOWSKY (1), entre autres conclusions, assure que les doses indiquées par les auteurs anglais et américains (1 à 2 milligrammes Cl par litre) n'ont qu'une signification relative, la dose dépendant du degré d'oxydabilité de l'eau, celle des microorganismes étant moins accentuée que celle des substances organiques.

KLUT (2), publiant ses recherches physico-chimiques sur le traitement des eaux du Bassin de la Ruhr par le chlorure de chaux, montre que ce produit influe peu sur les propriétés physiques et la composition chimique des eaux traitées : il constate que l'action du chlore sur les matières organiques peut donner des produits chlorés de goût et d'odeur caractéristiques, mais qu'en général cette action est minime et ne diminue que très peu la quantité de permanganate absorbé.

L'acide hypochloreux peut donner avec l'ammoniaque du chlorure, de la chloramine et de l'hydrazine. La dureté de l'eau (teneur en CaO) et la quantité d'acide carbonique libre ne sont pour ainsi dire pas modifiées (3).

CHANTEMESSE (4), dans le rapport présenté sur l'épuration des eaux de la ville de Paris par le chlorure de chaux, expose les recherches qu'il a poursuivies à cet effet et conclut que les doses de chlore à ajouter pour avoir toute sécurité varient suivant la quantité de matière organique contenue dans l'eau, sa teneur en germes et la durée de contact entre l'eau et le réactif; il adopte la dose optimale de 3 milligrammes de Cl, en trois heures.

Evidemment, la matière organique des eaux qu'on détermine

(1) Roussky Vratsh, 1912, 15, p. 513; 16, p. 551.

(2) Mitt a. d. k. Landesanstalt für Wasserhygiene, 1913, vol. XVII, Berlin, p. 94.

(3) Ces variations ne peuvent être que de quelques milligrammes ou dixièmes de milligramme : 0 mgr. 8 de CO² pour 1 milligramme de Cl; 0 mgr. 5 de CaO pour 1 milligramme de Cl.

(4) Roux, Rapport au Conseil. Sup. de Salubrité de la Seine, 1911.

ordinairement par la quantité d'oxygène que lui cède le permanganate est d'une complexité telle que son action vis-à-vis du chlore est très diversement appréciée.

Pour VINCENT et GAILLARD (1), la teneur de l'eau en matière organique n'est pas un critérium sûr pour la quantité de chlore utile à employer : leurs comprimés de chlorure de chaux sont préparés pour additionner l'eau de 3 milligrammes de chlore environ.

ORTICONI (2) obtient des résultats satisfaisants avec des quantités inférieures à 1 milligramme pour plus de 3 milligrammes de matière organique.

ROUQUETTE (3) utilise 1 milligramme de Cl. pour 1 milligramme de matière organique, BONJEAN (4) double la dose.

La première instruction de la Direction Générale du Service de Santé des Armées d'Opérations recommandait d'ajouter une dose de 0 mgr. 4 de chlore aux eaux limpides, 0 mgr. 8 aux eaux troubles ou souillées. Celle-ci fut ensuite portée de 1 mgr. 2 à 1 mgr. 6; puis on prescrivit d'employer 1,2 ou 3 milligrammes selon la teneur de l'eau en matières organiques. La circulaire du 14 Février 1916 dit à son tour : « La quantité initiale d'hypochlorite à employer doit être telle qu'elle corresponde approximativement à 4, 3, 2 ou 1 milligrammes de Cl libre par litre, suivant que l'eau à traiter est très polluée, trouble, de limpidité imparfaite ou claire ».

Enfin, d'études officielles entreprises par la suite, il résulte qu'il y a lieu d'adopter 0 mgr. 5 pour les eaux peu souillées; sinon, 1 milligramme et plus.

Au XV^e Congrès International d'Hygiène de Washington (septembre 1912), DIENERT note que « la dose d'hypochlorite à employer varie suivant la composition chimique de l'eau. Elle est pour l'eau de source de 1 à 2 milligrammes de chlore par litre. Elle doit être de 3 à 5 milligrammes dans les eaux de rivière riches en matières organiques, si l'on veut détruire non

(1) *Journal Ph. et Ch.* [7], XI, 1915, p. 270.

(2) *Rev. d'Hyg. et Pol. sanit.*, 20 Décembre 1916.

(3) *C. R. Acad. Sc.*, 12 Février 1912.

(4) *Revue d'Hyg. et Pol. San.*, 20 Août 1915.

seulement le *B. Coli*, mais encore la majeure partie des espèces banales ».

Dans une étude postérieure (1), le même auteur envisage l'action secondaire du chlore qui oxyde les substances organiques ou se combine à d'autres et s'avoue partisan des doses assez fortes : 1, 2 ou 3 milligrammes selon la limpidité et la teneur en matières organiques.

La « *Note du Ministère de l'Intérieur d'Italie sur l'épuration au chlorure de chaux* » (2) envisage certaines conditions de l'action du chlore qui varie selon la composition des eaux : une quantité excessive de matières organiques et en général de substances oxydables diminue son action stérilisante ; celle-ci même devient inappréciable ou se réduit à néant, si l'on ajoute à une eau de composition normale soit une petite quantité d'eau d'égoût stérile, soit du sérum animal dilué ou de l'ovalbumine en solution, c'est-à-dire des corps riches en matières organiques capables d'absorber tout le chlore. On peut en dire autant des substances qui rendent l'eau trouble, quelle que soit leur nature.

Il a été constaté également que l'action du chlore s'exerce plus favorablement sur les eaux très minéralisées.

La *Note* conseille pour les eaux limpides, pauvres en substances organiques, 0 mgr. 5 à 0 mgr. 6 ; après les chutes de pluie, si les eaux sont troubles, 0 mgr. 8 à 1 milligramme ; la durée de contact doit être assez longue comme pour les eaux amenées par des aqueducs dans les grands centres.

L'addition du chlore aux eaux d'alimentation varie donc non seulement avec leur valeur bactérienne, mais encore avec leur composition chimique ; or, l'on ne trouve pas de méthode rapide et sûre qui permette de calculer la quantité strictement nécessaire. On a le plus souvent recours à des essais bactériologiques préliminaires qui permettront pour telle eau donnée un dosage que des expériences de contrôle viendront rectifier ; ce

(1) *Technique sanitaire*, Février 1917, p. 47 et suiv.

(2) *Bulletin Off. Int. Hyg.*, T. IX, Mai 1917, p. 591.

procédé convient parfaitement pour les grandes installations urbaines, où l'on dispose de laboratoires.

Le problème ne se présente plus sous cet aspect lorsqu'il s'agit d'assurer l'épuration systématique de tous les points d'eau des secteurs d'armée. Et c'est pourquoi l'on trouve, durant cette période de 1914 à 1918, quelques méthodes empiriques ou d'approximation relative pour calculer la dose de chlore suffisante.

C'est qu'un excès de chlore, si faible que soit la quantité utilisée par litre, n'est pas indifférent pour garder à une eau ses caractères organoleptiques de fraîcheur, d'odeur et de goût. Dans l'Amérique du Nord où cette pratique s'est si vite répandue, on signale des insuccès dus à l'odeur de l'eau traitée, notamment à QUINCY où la dose utilisée n'était que de 1 mgr. 6, odeur qui persistait avec 0 mgr. 6. On a remédié à cet inconvénient, il est vrai, en utilisant soit un antichlore, soit une filtration sur charbon ce qui enlève à la méthode l'un de ses principaux avantages, la simplicité et la rapidité.

Pour conserver à l'épuration des eaux par le chlore le bénéfice de ses avantages, il est désirable de n'avoir pas à recourir, comme on peut le faire au reste assez facilement, pour les besoins individuels ou de très restreintes collectivités, à l'emploi de l'hyposulfite de soude qui enlève l'excès de chlore, encore que le but cherché ne soit pas toujours atteint. Une des premières méthodes pratiques pour la recherche de la quantité de chlore optima, c'est-à-dire ne nécessitant pas de recherches bactériologiques, est celle donnée par G. SIMS WOODHEAD (1). Ayant constaté que, toutes les fois qu'un échantillon d'eau, préalablement filtrée, avait reçu une quantité de chlorure de chaux suffisante, pour qu'après 15 minutes il reste encore du Cl libre, les germes pathogènes étaient tués, il en déduit le mode opératoire suivant : à une série de vases contenant 500 centimètres cubes d'eau, il ajoute au 1^{er} 0 cme 15; au 2^e, 0 cme 30; au 3^e, 0 cme 40, etc., d'une solution de chlorure

(1) *The Lancet*, 19 Septembre 1914.

de chaux à 40 p. 1.000 et après avoir versé au bout d'un quart d'heure quelques gouttes de réactif iodure-amidon, il remarque le dernier vase qui reste encore bleu; c'est la dose sûre pour 20 minutes de contact. Il ajoute qu'au delà de 0 cmc 6, c'est-à-dire environ 1 mgr. 50 de Cl, l'eau a un goût et qu'il vaut mieux la faire bouillir.

OTTOLENGHI (1) pose ainsi la question : il faut faire choix d'eaux limpides, fraîches, sans couleur ni odeur et, en cas de nécessité, ou bien ajouter une quantité d'hypochlorite assez élevée et détruire l'excès par un antichlore ou bien calculer le taux minimum de Cl pour rendre l'eau potable. Cette dernière méthode est évidemment préférable, si le taux ainsi calculé donne bien la dose suffisante de Cl. OTTOLENGHI emploie une méthode analogue à celle de WOODHEAD et remarque pourtant que le réactif du Cl libre, l'iodure-amidon, doit être mis pour chaque essai en quantité identique, la coloration dépendant non seulement de la quantité de Cl libre, mais encore de la quantité de réactif. Pour lui, les quantités de Cl varieront de 1 à 2 et même 15 milligrammes et il prévoit alors l'addition d'hyposulfite de soude.

GASCARD et LAROCHE (2) utilisent une méthode analogue : 5 essais en série sur 100 centimètres cubes d'eau, avec un contact de 20 minutes.

HORROCK (3) pratique une série d'essais avec une solution de chlorure de chaux, sur 250 centimètres cubes d'eau et se base sur la coloration bleue que donne le chlore libre avec une solution sensible d'iodure-amidon : 3 gouttes donnent une coloration avec 1 millionième de Cl; s'il faut 6 gouttes pour obtenir cette teinte, la proportion est de un demi-millionième et, dans ce cas, l'auteur indique qu'il faut doubler la dose de chlore. Nous verrons que cet indice chimique de la potabilité n'a qu'une valeur très relative. MASSY (4), qui rapporte des observations faites à l'armée anglaise d'Orient, donne comme valeurs trouvées pour

(1) *Il Policlinico, sezione pratica*, 39, 26 Septembre 1915, p. 1301.

(2) *Presse Médicale*, 5 août 1915.

(3) D'après *Journal of state medicine*, Février 1917, XXV, p. 41.

(4) *J. Ph. Ch.* [7], XIV 1917, p. 213.

l'essai d'HORROCK 0,21 à 1,06; ces chiffres sont trop faibles.

DIENERT (1) calcule la quantité de Cl à ajouter à l'eau de la façon suivante : il prend 1 litre d'eau, y ajoute 3 milligrammes de Cl et titre le chlore libre après un quart d'heure. Il adopte comme taux le chiffre du chlore combiné qu'il augmente de 0 mgr. 5, et fixe la durée de contact à 3 heures; si l'on doit réduire cette durée, il ajoute 1 milligramme au lieu de 0,5. En outre, pour les eaux de rivière, dont les germes seraient plus résistants, on doit encore augmenter cette dose.

Nous pouvons donc conclure qu'en général la quantité de chlore à ajouter à l'eau ne résulte pas de calculs spéciaux, mais des conclusions générales de l'analyse; elle paraît trop livrée au hasard, elle manque de précision.

Or, il est permis de calculer approximativement la quantité de chlore que peuvent absorber les eaux à épurer, mais il sera nécessaire d'opérer dans certaines conditions de quantité initiale et de durée de contact, afin d'obtenir des résultats comparables.

IV. — L'INDICE DE CHLORE DES EAUX

Nous avons vu que DIENERT (1) pour obtenir le taux approximatif de chlore ajoute 3 milligrammes de Cl par litre et dose le chlore fixé, c'est-à-dire combiné.

Déjà, GUILLAUMIN et VIENNE (2) avaient indiqué que la quantité de chlore combinée varie avec les quantités mises en présence et avec la durée de contact et qu'après une demi-heure, quelle que soit la dose de Cl ajoutée à l'eau, 50 milligrammes à 0 mgr. 2, l'absorption de celui-ci n'est jamais complète. Ils donnent les conditions d'obtention d'un coefficient d'absorption du chlore caractéristique d'une eau déterminée, en dosant la quantité d'hypochlorite fixée en 6 heures; ils font agir 50 milligrammes de chlore par litre, chiffre qu'ils ont estimé donner une absorp-

(1) *Op. cit.*

(2) *J. Ph. Ch.* [7], XII, 1915, p. 377 à 387.

tion constante, indépendamment de la dose initiale et de la durée de contact.

Nous allons indiquer maintenant les considérations d'ordre chimique qui nous ont conduit à adopter une méthode donnant pour chaque eau à analyser un chiffre de *chlore fixé*, mesurant son oxydabilité et l'action du chlore vis-à-vis de la matière minérale et organique (germes et substances dissoutes). Nous appellerons *indice de chlore* d'une eau donnée le chiffre qui exprime le nombre de milligrammes de chlore fixé par 1 litre de cette eau en 30 minutes de contact.

Nous verrons ensuite, par l'étude des combinaisons du chlore avec les divers composants des eaux, la valeur hydrologique de cette donnée pour l'interprétation des résultats des analyses d'eaux d'alimentation.

Nous montrerons enfin que l'indice de chlore, véritable caractéristique de l'eau examinée, pourra être utilisé pour son épuration éventuelle; il donne approximativement la quantité utile de chlore à employer, c'est dire aussi sa valeur bactériologique.

§ I. — DISCUSSION DE LA MÉTHODE DE RECHERCHE DE L'INDICE DE CHLORE

Chlore initial, chlore fixé. — Lorsqu'on ajoute à un certain volume d'une eau quelconque une faible quantité d'hypochlorite de sodium — quelques dixièmes de milligramme à quelques milligrammes en Cl par litre — comme dans la pratique de l'hypochlorisation — on ne retrouve pas, si l'on fait un dosage chlorométrique immédiat, la qualité de chlore *initial* : une certaine partie a disparu, échappant aux réactifs, c'est le chlore *fixé*.

Nous avons recherché expérimentalement dans quelles mesures s'exerçaient les variations du chlore fixé, en fonction du chlore initial, de la durée de contact et de la nature de l'eau examinée.

Technique de la recherche de l'indice de chlore. — A cet effet, nous avons utilisé :

1° Une solution d'hypochlorite de sodium à 200 milligrammes

environ (1) de Cl par litre qu'on prépare extemporanément en diluant dans 250 centimètres cubes d'eau, 2 cmc. 1 à 2 cmc. 2 d'une solution d'hypochlorite à 25 grammes de Cl par litre préparée par double décomposition ainsi que nous l'indiquons plus loin (2);

2° une solution d'hyposulfite de sodium obtenue en diluant 28 cmc. 1 de la liqueur $\frac{N}{10}$ à 1 litre, telle que 1 centimètre cube corresponde à 0 mgr. 1 de chlore.

Préalablement à toute série d'examens, on titre la liqueur chlorée au moyen de la solution d'hyposulfite de la façon suivante :

Dans un petit verre à pied, on verse 5 centimètres cubes de liqueur d'hypochlorite, X gouttes de KI à 20 p. 100, X gouttes d'acide acétique pur et on verse la solution d'hyposulfite en s'aidant vers la fin d'eau amidonnée (quelques gouttes) jusqu'à disparition de l'iode déplacé. Le nombre de centimètres cubes n ainsi obtenu est voisin de 10; on le note.

Puis on mesure dans de grands verres à expérience ou dans des fioles blanches de 250 centimètres cubes, 200 centimètres cubes de l'eau à étudier, dans lesquels on dilue la liqueur chlorée, soit 5 centimètres cubes si l'on utilise, comme dans la recherche de l'indice de chlore, une dose de 5 milligrammes de chlore initial.

L'hypochlorite ainsi dilué dans ce volume d'eau se dissocie, le chlore libéré agit sur les divers composants, en fonction du temps de contact. Lorsqu'on veut savoir la quantité de chlore qui a ainsi été fixée, on ajoute au contenu de ces récipients X gouttes de KI à 20 p. 100, X gouttes d'acide acétique pur, quelques gouttes d'eau amidonnée. Le chlore qui n'a pas été fixé déplace une quantité équivalente d'iode que l'on titre par la solution d'hyposulfite. On note le nombre de centimètres cubes nécessaires pour obtenir la disparition de la couleur bleue due à l'iodure d'amidon; si celle-ci n'était pas atteinte à une

(1) Il n'est pas nécessaire que la solution d'hypochlorite soit exactement telle que 5 centimètres cubes = 1 milligramme de Cl correspondent à 10 centimètres cubes d'hyposulfite, l'indice résultant de la différence $n-n'$.

(2) Voir page 62.

goutte près, il serait bon de dépasser la coloration; on ferait le retour avec la solution d'hypochlorite, sachant qu'une goutte normale correspond à 0 cmc. 1 d'hyposulfite : le terme de la réaction est ainsi très sensible.

$n-n'$ donne en dixièmes de milligramme la quantité de chlore fixé absorbé par 200 centimètres cubes d'eau; pour ramener au litre, on multipliera par 5 :

$$(n-n') \times 5 = \text{dixièmes de milligramme de Cl par litre,}$$

ou

$$\frac{n-n'}{2} = \text{milligrammes de Cl par litre.}$$

Ce chiffre est la moitié de la différence de ceux trouvés avant et après l'action du chlore sur l'eau.

C'est ainsi que l'on procédera pour déterminer l'*indice de chlore* d'une eau. Prenons un exemple : 5 centimètres cubes d'hypochlorite exigent 10 cmc. 2 d'hyposulfite; le titrage effectué dans les 200 centimètres cubes d'eau, où on les a dilués après 30 minutes, donne 6 cmc., 4; l'indice de chlore est :

$$\frac{10,2 - 6,4}{2} = 1,9$$

c'est-à-dire que l'eau examinée fixe dans ces conditions 1 mgr. 9 de chlore par litre.

§ II. — ACTION DU CHLORE SUR UNE MÊME EAU, EN FONCTION DE LA DOSE INITIALE ET DE LA DURÉE DE CONTACT.

Nous avons institué une série de recherches portant sur une même eau, de qualité satisfaisante (absence de nitrites, d'ammoniaque, faible teneur en chlorures et matière organique) de manière à étudier l'action du chlore, en quantité et en durée de contact variables.

La lecture du tableau ci-après montre que la quantité de chlore fixé est proportionnellement beaucoup plus élevée pour des quantités minimales de chlore initial; cette constatation s'explique par ce fait que la dissociation de l'hypochlorite est d'autant plus rapide et étendue que la dilution est plus grande et

par suite que la dose de Cl initial pour un volume donné est plus faible : pour une dose minime, 1 milligramme par exemple, la quantité de chlore fixé en 30 minutes est de 0 mgr. 75, alors que pour une dose initiale 25 fois plus grande, elle n'est que deux fois plus forte.

CHLORE INITIAL (En milligrammes.)	CHLORE FIXÉ PAR UN LITRE D'EAU APRÈS CONTACT DE				
	5 minutes.	30 minutes.	1 heure.	4 heures.	24 heures.
0,25	0,12	0,18	0,25	»	»
0,5	0,25	0,4	0,45	0,5	»
1	0,5	0,75	0,80	0,87	1 (en 6 h.)
3	0,55	0,85	0,95	1,30	2,55
5	0,6	1,1	1,2	1,75	2,75
10	0,85	1,3	1,37	2,10	6,67
25	0,95	1,5	1,75	3,25	14,5

Lorsqu'on pratique des dilutions inférieures à 1 milligramme, on observe également les mêmes variations; ce n'est que pour une dose de 0 mgr. 1 qu'on constate la disparition totale et immédiate du Cl.

Ainsi donc, lorsqu'on ajoutera à une eau une quantité définie de Cl, en hypochlorite, pour l'épurer, une partie disparaîtra, soit par transformation moléculaire de l'hypochlorite, soit par combinaison avec les éléments dissous de l'eau — comme nous le montrerons ultérieurement : ce sera ce que nous appelons le *chlore fixé*. Le reste ou *chlore utile* agira sur les germes. Ainsi donc, le chlore à faibles doses initiales, se fixant en quantités beaucoup plus élevées, il semble qu'il soit nécessaire d'ajouter à l'eau qui doit être épurée une quantité de chlore initial relativement plus élevée, pour y laisser agir une plus forte proportion de chlore utile.

La durée de contact de 30 minutes, ordinairement observée dans la pratique de l'épuration, donne des chiffres suffisamment élevés et peu différents de ceux obtenus en une heure. Cette durée moyenne peut être adoptée dans la technique de recherche de l'indice de chlore.

§ III. — ACTION DU *Cl* SUR DES EAUX DE DIVERSES ORIGINES,
EN FONCTION DE DOSES INITIALES VARIABLES (même durée de contact).

D'autre part, si l'on détermine les quantités de *Cl* fixé par des eaux de diverses origines, avec des quantités variables de chlore initial, on obtient les chiffres suivants, récapitulés dans le tableau ci-après :

EAUX	Cl FIXÉ AVEC				
	10 milligr.	5 milligr.	2 mgr., 5	1 milligr.	0 mgr., 5
Puits n° 1. . . .	0,75	0,5	0,4	0,25	0,2
Puits n° 2. . . .	1,7	1,1	0,7	0,65	0,35
Puits n° 3. . . .	1,8	1,1	0,9	0,35	0,35
Puits n° 4. . . .	1,9	1,3	0,9	0,6	0,35
Puits n° 5. . . .	3	1,9	1,5	0,6	0,4
Puits n° 6. . . .	3	2,1	1,7	0,6	0,35
Rivière	4,15	3,4	1,4	0,55	0,35

L'examen de ce tableau montre :

1° Que les eaux réagissent différemment selon leur origine, leur composition biologique, leur valeur hydrologique.

2° La quantité de chlore fixé est sensiblement la même pour une dose initiale faible, 0 mgr. 5 par exemple, exception faite pour des eaux très pures (puits n° 1 alimenté par des sources profondes).

3° Qu'une dose initiale de 5 milligrammes de chlore permet d'obtenir des valeurs en chlore fixé assez différentes pour pouvoir être considérées comme des moyennes chlorométriques de ces eaux, moyennes qui sont de l'ordre de grandeur des doses de *Cl* couramment employées dans l'épuration des eaux de boisson.

L'expérimentation permet donc d'établir les deux propositions suivantes :

1° Etant donné un même échantillon d'eau, la quantité de chlore disparu ou *fixé* variera pour une même dose de *Cl initial*

avec la durée de contact; pour des doses de Cl *initial* différentes avec des durées de contact égales.

2° Etant donnés des échantillons d'eaux diverses, si l'on dilue une même dose de chlore initial dans des volumes identiques, les quantités de Cl *fixé*, pour une même durée de contact, varient avec les eaux mises en expérience.

Comme on vient de le voir, l'étude de ces propositions permet de choisir une méthode qui donne, pour des eaux de nature sensiblement différente, des quantités de Cl *fixé* variant avec leur composition chimique ou leur pollution bactérienne et d'une valeur absolue voisine des doses employées pratiquement pour leur épuration.

La quantité de Cl *initial* adoptée est de 5 milligrammes par litre; la durée de contact, de 30 minutes. Ce sont là des conditions arbitraires, tout à fait comparables à celles mises en œuvre pour l'évaluation de la matière organique de l'eau par le permanganate de potassium.

Voici quelques chiffres obtenus qui montrent dans quelles limites varie cet indice :

Source de l'Aronde.	0,6
Canalisation urbaine de Compiègne.	0,7
Eau de l'Aisne à Rethondes.	1,1
Puits à P.....	1,5
Puits foré en forêt de Laigue.	2,1
Puits à Fontenoy	2,9
Eau de la rivière la Brèche.	3,2
Eau de la rivière l'Authone.	3,5
Eau de la Somme à A.....	3,9
Puits de M.....	4,5
Puits de R.....	5

Nous avons, au cours de près de quatre années, déterminé les indices de chlore de plus de 3.000 échantillons d'eaux et constaté la variété des résultats. Ce n'est que très exceptionnellement, pour des eaux très souillées, non potables, que l'indice de chlore s'est trouvé supérieur à 5. Aussi c'est seulement après avoir étudié l'action du chlore de l'hypochlorite sur les diverses eaux d'alimentation, en faisant varier la quantité à mettre en œuvre

et la durée de contact que nous nous sommes arrêté pour la détermination de l'indice de chlore aux conditions rapportées plus haut.

§ IV. — VALEUR HYDROLOGIQUE DE L'INDICE DE CHLORE.
SON ETUDE CHIMIQUE

La recherche du *chlore fixé* par les eaux, selon la méthode que nous venons d'indiquer, fournit une donnée précieuse sur la composition biologique des eaux d'alimentation.

Pour en bien juger, essayons de préciser de quelles manières la solution diluée d'hypochlorite peut réagir au sein des eaux naturelles, milieux complexes et de composition essentiellement différente.

Il y a lieu pour cela de tenir compte :

- 1° de la dissociation de la liqueur chlorée employée;
- 2° de la combinaison des éléments dissociés (chlore et oxygène) avec les substances minérales et organiques en dissolution ou en suspension dans l'eau.

I. DISSOCIATION DE LA LIQUEUR CHLORÉE. — Les liqueurs chlorées ordinairement employées (eau de Javel, solutions de chlorure de chaux, hypochlorite de sodium, de magnésium, etc.), comme toutes les dissolutions d'électrolytes, subissent le phénomène de la dissociation, dans des proportions variant avec leur dilution et la composition du dissolvant; il y a production d'acide hypochloreux et de la base correspondante :



l'acide hypochloreux, très instable, se dédouble en libérant du chlore et de l'oxygène.



Pour préciser, — lorsque, dans la pratique de l'hypochlorisation des eaux à épurer ou dans la recherche de l'indice de chlore de ces eaux, on ajoute, par exemple, 5 centimètres cubes de solution d'hypochlorite de sodium (solution contenant envi-

ron 200 milligrammes de Cl par litre) à 200 centimètres cubes d'une eau naturelle, de telle sorte qu'elle soit additionnée de 5 milligrammes de Cl par litre, on constate, par des titrages, que la dissociation de la solution d'hypochlorite ainsi diluée est presque complète.

Ainsi, lorsqu'on titre la liqueur chlorée, sans la diluer, si les 5 centimètres cubes mis en œuvre exigent pour le dosage de l'iode de l'iodure déplacé par le Cl libre 6 cmc. 2 de la liqueur d'hyposulfite (dont 1 cmc $\equiv$ 0 mgr. 1 de Cl), l'addition de quelques gouttes d'un acide, acétique ou chlorhydrique, libérant tout le Cl de l'hypochlorite, donnera, dans un second dosage 10 cmc 2. Ce dernier chiffre est le titre chlorométrique de la liqueur chlorée, entièrement dissociée, le premier chiffre donnant le Cl libre.

D'autre part, si l'on procède au titrage de ces 5 centimètres cubes de liqueur chlorée, immédiatement après dilution dans 200 centimètres cubes d'une eau naturelle de bonne qualité, on constate qu'il faut, même en l'absence d'un acide étranger, 9 cmc 8 d'hyposulfite. La dissociation est donc entière ou à peu près (1) les 0 cmc 4 disparus pouvant s'être combinés immédiatement avec les substances dissoutes dans l'eau.

Il n'en va pas de même avec l'eau distillée ou l'eau de pluie (eaux d'alimentation des citernes); les chiffres de Cl libéré diffèrent notablement, selon la réaction du milieu; on observe, selon qu'on ajoute ou non un acide, des différences pouvant s'élever de 1 à 1 cmc. 5.

Nous pouvons déduire de ces résultats que la présence d'un acide, capable de saturer la base libérée selon la réaction (1), est nécessaire à l'entière dissociation de la liqueur chlorée.

Mettant à profit cette constatation, nous avons recherché dans quelles limites variaient les quantités de Cl fixé, lorsque, dans la méthode de recherche de l'indice de chlore, on ajoutait ou non un acide, lorsqu'on l'ajoutait en même temps que l'hypochlorite ou bien seulement après 30 minutes.

Le tableau suivant donne, en centimètres cubes d'hyposulfite

(1) Cf. P. BRETEAU, *J. Ph. Ch.* [7], XII, 16 Octobre 1915, p. 248 et VALLERY, *C. R. Acad. Sc.*, T. CLXII, p. 326, 1916.

correspondant à 5 centimètres cubes d'hypochlorite dilués dans 200 centimètres cubes d'eau (deux eaux naturelles A et B et deux eaux distillée ou de pluie C et D), les chiffres trouvés, après un contact de 30 minutes :

CONDITIONS DE L'EXPÉRIENCE	EAU NATURELLE		EAU DISTILLÉE OU DE PLUIE	
	A	B	C	D
Acide (au début)	9,5	8,3	6,7	5,8
Sans acide.	9,1	7,9	5,5	4,3
Acide (à la fin).	9,3	8,2	6,2	5,3

Ces résultats montrent qu'on obtient un chiffre moyen, en ajoutant l'acide au moment du titrage. D'ailleurs, nous avons adopté cette condition :

1° pour nous mettre dans les conditions ordinaires de l'épuration des eaux par les hypochlorites, qui ne comporte pas l'addition simultanée d'un acide et de la liqueur chlorée ;

2° parce que l'absence d'acide dans le titrage du Cl fixé fausserait pour certaines eaux (eaux de citernes) les résultats obtenus avec une liqueur chlorée dont on détermine au préalable le degré chlorométrique total (en présence d'acide). Pour la presque totalité des eaux naturelles, l'absence d'acide donnerait des indices de chlore à peine supérieurs de 2 à 3 dixièmes de milligramme.

II. ACTION DU CHLORE DE L'HYPOCHLORITE SUR LES COMPOSANTS DE L'EAU. — Nous venons de voir que l'hypochlorite de sodium en solution très diluée se dissociait en totalité ou en partie, dans l'eau, selon son origine. Les réactions générales que nous avons données plus haut (1) et (2) rendent compte de la nature de cette dissociation; il y a production de chlore, puis d'oxygène naissant capables de réagir sur les divers composants de l'eau traitée, c'est-à-dire sur les substances vivantes (bactéries, moi-

sissures, etc.), comme sur les matières organiques ou minérales qu'elle tient en suspension ou en dissolution.

Il y a là place à des réactions nombreuses et complexes et l'on entrevoit toute une série de transformations par oxydation, par substitution ou addition de chlore, qui varieront nécessairement avec la composition de chaque eau, en qualité et en quantité.

Nous allons passer très brièvement en revue les divers corps dont la présence normale dans l'eau est susceptible d'être influencée par l'hypochlorite.

1° **Alcalinité et acidité carbonique.** — L'*acide carbonique* libre ou demi-combiné, dissous dans les eaux naturelles, s'y trouve en quantité telle qu'il y déplacerait tout l'acide hypochloreux de l'hypochlorite dont on les additionnerait, si celui-ci ne s'y dissociait en partie par la dilution. Les réactions suivantes :

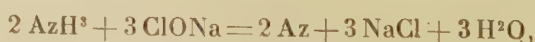


montrent, en effet, que 1 milligramme de CO^2 libère 1 mgr. 6 de chlore et 0 mgr. 36 d'oxygène. Or, les eaux les moins minéralisées contiennent au moins 10 milligrammes de CO^2 . Il n'y a donc pas lieu d'envisager dans l'action de l'hypochlorite sur les eaux naturelles les variations de leur acidité carbonique ou de leur degré alcalimétrique (CO^3Ca total calculé en présence d'héliantine).

Nous avons vu, à propos de la dissociation de l'hypochlorite, qu'il n'en est pas de même pour les eaux de pluie.

2° **Azote minéral et organique.** — L'*ammoniaque* libre ou saline s'oppose à la dissociation de l'hypochlorite et à la fixation du chlore libre sur les corps réducteurs ou avides d'halogène. La recherche du chlore libre dans les hypochlorites s'effectue, en effet, comme l'on sait, en présence d'ammoniaque.

L'ammoniaque réagit à la façon d'un antichlore :



soit une molécule d' AzH^3 pour trois atomes de Cl (environ

1 p. 7). Un excès donnerait de la chloramine, corps moins actif que le chlore.

En additionnant une eau pure de quantités croissantes d'ammoniaque, telles qu'on en rencontre parfois dans certaines eaux souillées, nous avons constaté une diminution marquée dans la valeur du chlore fixé; le tableau suivant indique dans quelles proportions :

EAUX	EAU PURE	ADDITIONNÉE D' AzH^3 PAR LITRE		
		1 milligramme.	2 milligrammes.	3 milligrammes.
Eau n° 1.	3,49	3,40	2,48	2,39
Eau n° 2.	3,25	3,1	2,7	2,5
Eau n° 3.	2,7	2,5	2,3	2

Pour les doses de 20 à 30 milligrammes (quantités observées parfois), l'indice de chlore peut s'abaisser de 4,5 à 0,7. La dissociation de l'hypochlorite est alors presque totalement entravée. De telles eaux sont à rejeter de l'alimentation et leur hypochlorisation n'est pas à envisager.

RACE (1), qui préconisait l'emploi de l'hypochlorite d'ammoniaque, remarque la très petite absorption du Cl dans le cas d'une eau additionnée d' AzH^3 . De 35 à 60 p. 100 (durée de contact de 5 à 60 minutes), la disparition du chlore actif tombe, après addition d' AzH^3 , à 1,4 p. 100 en 1 heure et 3,2 p. 100 en 20 heures.

L'urée, aux doses de 1 à quelques milligrammes, n'influe sensiblement pas sur la fixation du chlore.

Sur les *nitrites*, l'action de l'hypochlorite est immédiate, en milieu normalement alcalin par le CO^2Ca . Le chlore libre les oxyde et les transforme en nitrates, selon la réaction :



(1) *The Lancet*, 8 juillet 1916, p. 71.

Celle-ci est quantitative :

1 milligramme de NO^2H	est oxydé par	1 mgr., 5 de chlore.
1 — de NO^2Na	—	1 mgr. —
1 — de NO^2K	—	0 mgr., 8 —

Si l'on ajoute à une eau pure des quantités de nitrite correspondant à 1, 2, 3 milligrammes de NO^2H , on observe les indices suivants :

Eau de C.	0,7
— + 1 milligramme de NO^2H	2,3
— + 2 — de NO^2H	3,8
— + 3 — de NO^2H	> 5

Ces résultats montrent la progression régulière dans la fixation du chlore, 1 mgr. 5 environ par milligramme de NO^2H . En réalité, toutes les eaux qui renferment des nitrites ont un indice de chlore élevé. Toutefois — le fait est rare — la présence d'une forte quantité d'ammoniaque empêchant la dissociation de l'hypochlorite, s'oppose à la réaction d'oxydation du chlore sur les nitrites.

Le chlore ne réagit pas sur les *nitrates* des eaux.

3° Matière organique animale et végétale. — C'est surtout la présence de matière organique qui rend compte de la fixation du chlore dans la plupart des eaux d'alimentation. Lorsqu'elles sont relativement pures, au point de vue chimique, c'est-à-dire exemptes de nitrites, d'ammoniaque, de corps minéraux réducteurs, la quantité de chlore fixé est en rapport avec la matière organique au double point de vue quantitatif et qualitatif. Le plus souvent, les chiffres de l'indice de chlore sont voisins de ceux donnés par la détermination de l'oxygène, consommé en milieu alcalin.

GUILLAUMIN ET VIENNE (1) trouvent que l'oxydation de la matière organique correspond pour 0 mgr. 9 de Cl à un abaissement de 1 milligramme d'O pour les eaux qui en consomment 1 mgr. 5 à 2 milligrammes.

La *matière organique végétale* est, en général, constituée par

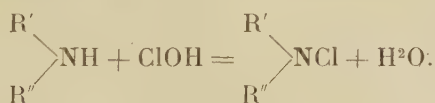
(1) *Op. citat.*

des substances de la famille des tannins $C^{14} H^{10} O^9$, provenant de débris végétaux, des feuilles, de l'écorce des arbres, entraînés ou lessivés par les eaux de précipitation et de ruissellement; or, les tannins fixent très facilement les halogènes par substitution; dans les eaux, l'hypochlorite dissocié donne du chlore qui va se fixer sur ces produits végétaux dissous. Il est facile de le vérifier en ajoutant à une eau pure des quantités croissantes soit de tannin, soit d'infusion de thé noir, soit de macérations de feuilles ou de brindilles de bois. Le tableau suivant des indices de chlore obtenus, en ajoutant à une eau naturelle les proportions ci-après de tannin à l'éther :

Eau de C	0,8
— + 1 milligramme de tannin	1,8
— + 2 — — — —	2,8
— + 3 — — — —	3,8
— + 4 — — — —	4,8
— + 5 — — — —	> 5

montre que 1 milligramme de chlore se fixe dans ces conditions à 1 milligramme de tannin. On obtient des chiffres d'une progression analogue avec les macérations ou infusions végétales.

Quant à la *matière organique* d'origine *animale*, on peut l'envisager, pour simplifier le problème, comme appartenant à la série des acides organiques aminés, où la substitution du chlore à l'hydrogène peut se traduire par la réaction générale :



VINCENT et GAILLARD (1) estiment que le chlore oxyde les matières azotées dans la proportion de 25 à 75 p. 100 et constatent que l'augmentation (trois fois plus) de la teneur en azote exige pour la destruction des germes pathogènes l'emploi de 6 milligrammes de Cl (2 comprimés).

L'action du chlore sur l'*ammoniaque albuminoïde* — dont les

(1) *Op. cit.*

quantités relevées dans les eaux sont très minimes (dixièmes de milligramme par litre) — semble être du même ordre.

Plus spécialement, le chlore se fixera sur les substances protéiques, germes de l'eau qu'il détruira. L'addition à une eau d'une émulsion de *B. Coli*, par exemple, peut modifier son indice de chlore; c'est ainsi que nous avons observé les variations suivantes :

EAUX	N° 1	N° 2	N° 3
Brute.	1,1	2,3	2,6
Additionnée de <i>B. coli</i>	1,6	3,3	3,8

mais il y a lieu de remarquer que la quantité de Cl fixé par les germes est relativement minime lorsque ceux-ci s'y trouvent dans des proportions habituelles aux eaux souillées. Les eaux nos 2 et 3 contenaient un nombre de germes incommensurables, qui rendaient l'eau opaline.

4° **Sels minéraux.** — Nous noterons simplement encore que la présence, très rare dans les eaux d'alimentation usuelles, de composés minéraux, comme les *sulfures*, les *sels ferreux* modifieraient considérablement la fixation du chlore : une dose de 0 mgr. 5 de sulfure de sodium par litre porterait l'indice de chlore au delà de 5.

Les variations des chlorures, de la chaux, de la magnésie, de la silice, des sulfates, n'intéressent pas la fixation du chlore.

L'étude des variations du Cl fixé en fonction des divers composants d'une eau, ainsi que nous venons de l'exposer, peut se compléter par l'analyse de cette eau avant et après l'action de l'hypochlorite. Quand on compare les chiffres respectifs donnés par le même composant, on constate, soit par la disparition totale des nitrites, soit par l'abaissement notable de l'ammoniaque albuminoïde et de la matière organique, que le chlore a réagi de façon complexe sur l'ensemble des substances capables d'être oxydées ou chlorées.

5° **Conditions extérieures.** — Il nous reste enfin à examiner certaines conditions extérieures qui influent dans la fixation du Cl par les eaux.

Le défaut d'aération de certaines eaux, créant une atmosphère réductrice au sein du liquide, favorise l'absorption du chlore. Lorsqu'on prive une eau de la majeure partie de ses gaz dissous et notamment de l'*oxygène*, soit par l'ébullition, soit par le vide, on obtient des chiffres plus élevés : donnons ces deux exemples :

NATURE DE L'EAU	EAU D'UN PUIS	EAU DISTILLÉE
Brute	0,8	0,4
Bouillie	2,9	1,2
Soumise au vide	2,6	1

Nous avons constaté que l'*oxygène* dissous avait diminué des 2/3 environ dans les échantillons ayant subi l'action du vide ou l'ébullition. Pratiquement, les eaux renfermant peu d'*oxygène* dissous auront un indice de Cl plus élevé.

Le *brassage* de l'eau, par contre, aiderait à la fixation du chlore, ce qui a conduit certains auteurs à préconiser, dans la stérilisation de l'eau par les hypochlorites, l'emploi de faibles doses, joint à un brassage énergique (1). Nous n'avons pu réaliser ce genre d'expériences au laboratoire; néanmoins, la pratique journalière de plusieurs mois d'épuration par l'extrait de Javel des eaux d'alimentation d'une ville (3.000 mètres cubes par jour) nous a montré qu'on ne pouvait guère diminuer la dose de chlore nécessaire — celle indiquée par l'indice de chlore, — malgré le brassage réalisé par une puissante turbine électrique : la limpidité de l'eau joue là un rôle prépondérant.

L'indice de chlore s'élève avec la *température* de l'eau, mais dans les limites ordinaires où s'effectue cette recherche, de 5 à 20°, ce facteur peut être négligé. Les chiffres extrêmes que

(1) ORTICONI, *Op. cit.*

nous avons relevés ont été obtenus, en laissant l'hypochlorite réagir, à la glacière, d'une part, dans une étuve à 35°, d'autre part, deux témoins à 15° et 20° donnant l'indice, savoir :

Eau d'un puits vers 0°	1,2
— à 15°	1,4
— à 20°	1,45
— à 35°	2

Signalons que pour RACE (1) et la « Note Officielle Italienne », il faut pour stériliser l'eau 3 fois plus de chlore à 0° qu'à 21°, à 5° qu'à 40°.

La *turbidité* de l'eau, revêtant des causes très diverses, peut influencer sur la fixation du chlore. Lorsqu'elle est due à des matières en suspension, il y a lieu d'opérer sur l'eau décantée et redevenue limpide. En ce cas, le trouble était dû à des débris organiques ou à des particules terreuses flottant dans l'eau, sans action au reste sur la fixation du chlore. Il en est de même des eaux opalines de certains terrains argileux; filtrées ou non sur coton de verre, elles ont un indice de chlore sensiblement le même. Par contre, si le trouble de l'eau est dû à des substances organiques ou à des germes plus ou moins émulsionnés, l'indice de chlore est plus élevé avant la filtration à la bougie qu'après. Nous avons trouvé les chiffres suivants :

EAU DE RIVIÈRE (échantillons).	FILTRATION A LA BOUGIE	
	Avant	Après
N° 1	2,8	2,3
N° 2	3,4	2,7
N° 3	3,7	3,1

Des essais de turbidité artificielle, par l'addition de substances minérales (talc, kaolin, craie) et organiques (cultures solides de germes) confirment les remarques précédentes.

(1) RACE, *The Surveyor*, XLVIII, n° 1246, 3 Décembre 1915, p. 56.

Le chlore ne diminue pas la turbidité, il ne change pas la coloration, l'odeur ou le goût de certaines eaux polluées; les bactéries englobées dans des particules solides peuvent ainsi échapper à la stérilisation.

6° **Remarques.** — Très exceptionnellement, la méthode que nous avons donnée pour la recherche de l'indice de chlore donnera avec certaines eaux un chiffre de chlore fixé ou trop faible ou trop élevé. Ainsi que nous l'avons noté plus haut, la présence d'une forte proportion d'ammoniaque entrave la fixation du chlore et des eaux très souillées ont ainsi un indice de chlore inférieur à 1. Cette anomalie est trop apparente pour qu'on n'y prenne point garde.

Par contre, quelques eaux provenant la plupart de sources émergeant au ras du sol et n'accusant, dans leur composition chimique aucune souillure manifeste, ont un indice de chlore très élevé, de 3,5 à 4,5 : il semble que cette élévation du chlore fixé soit le fait d'une atmosphère réductrice au sein du liquide. La correction s'obtient facilement en procédant à la recherche de l'indice de chlore sur l'eau préalablement acidulée, l'addition d'acide acétique précédant immédiatement celle de l'hypochlorite.

Ces exceptions sont fort rares, évidentes et confirment la méthode que nous venons d'exposer.

V. — RÉSULTATS ANALYTIQUES

L'étude rapide que nous venons de faire de l'action du chlore sur les divers composants des eaux nous a permis d'entrevoir de quelle manière complexe l'hypochlorite se comporte vis-à-vis de celles-ci. Nous pouvons noter tout de suite qu'on ne peut, en bonne analyse, malgré une apparente analogie, assimiler cette recherche à la détermination de l'oxygène emprunté au permanganate.

La recherche de la fixation du chlore par une eau, dans les conditions que nous avons définies, fournit pour chaque échan-

tillon un chiffre ayant vraiment la valeur d'une caractéristique de l'eau soumise à l'analyse. Cette donnée lui est particulière, c'est son *indice de chlore*.

L'importance de cette donnée, dans l'interprétation des résultats des analyses d'eau, est soulignée par le relevé des chiffres de Cl *fixé* que nous avons déterminés sur 825 échantillons d'eaux de toute provenance :

De 0,4 à 1	210
De 1 à 1,5	228
De 1,5 à 2	164
De 2 à 2,5	81
De 2,5 à 3	61
De 3 à 4	52
De 4 à 5	23
Au-dessus de 5	6

L'indice de Cl est très faible, de 0,4 à 1 pour les eaux profondes ou d'origine lointaine, émergeant dans des terrains argilo-sableux, soit dans des puits forés, soit sous la forme de sources bien protégées, à l'abri d'infiltrations étrangères aux abords et dans les conduites.

Il s'élève de 1,5 à 2,5 pour les eaux courantes de rivières ou les eaux de la première nappe des terrains fissurés.

Il croît encore pour les eaux de rivières des villes et les sources sans protection où la pollution est très forte, pour celles des puits où le terrain n'offre qu'une filtration très grossière et dont la composition chimique révèle la présence des nitrites, c'est-à-dire d'une activité bactérienne manifeste, ou de la matière organique en proportion anormale.

D'autre part, la détermination de l'indice de chlore opérée à certains intervalles sur une même eau permet de suivre la composition de celle-ci : un indice de chlore fixe est le signe d'une eau stable, donc d'origine profonde ; des indices variables montrent que l'eau examinée est soumise à des apports étrangers. Il y a là un moyen facile de surveillance des eaux suspectes qu'il est indispensable d'établir, lorsqu'on doit les soumettre à l'épuration par les hypochlorites. Comme nous le montrerons par ailleurs, l'indice de chlore pouvant être adopté comme taux

d'hypochlorisation des eaux à épurer, on voit quelle est son importance, dans les analyses hydrologiques, au double point de vue bactériologique et chimique : sa recherche mérite d'être effectuée dans tout examen d'eau sommaire, car il est le seul élément susceptible d'être utilisé d'emblée.

VI. — VALEUR BACTÉRIOLOGIQUE DE L'INDICE DE CHLORE

Nous avons dit comment on pouvait envisager l'action bactéricide du chlore : il se fixe sur les protéines des germes et les frappe de mort.

§ 1. — MODES D'ÉLECTIVITÉ DU CHLORE

Dans le milieu complexe qu'offre une eau naturelle, on conçoit que le chlore agisse avec plus ou moins d'élection sur les différents composants capables d'entrer en réaction avec lui. Cependant il est facile de constater que les nitrites absorbent immédiatement la quantité de chlore nécessaire à leur oxydation. Il en est de même des tannins qui constituent pour la plus grande partie la matière organique d'origine végétale. Une proportion élevée de tannin (5 milligrammes par litre) suffit même à absorber tout le chlore qui ne peut réagir sur les nitrites présents.

On conçoit que l'activité bactéricide du chlore initial s'abaisse, quand il agit dans une eau renfermant des substances comme les nitrites ou des tannins, car une fraction seule du chlore initial pourra détruire les germes.

Si le chlore initial a été ajouté en trop petite quantité, il est à craindre que le chlore résiduel, bactériologiquement utile, ne soit pas suffisant pour épurer l'eau, en tuant les germes pathogènes. Le chlore fixé peut avoir réagi avec priorité sur les substances chimiques ou organiques dissoutes, au détriment des germes à tuer. D'où cette notion qu'il faut, dans la pratique de l'épuration des eaux par le chlore, tenir compte de leur composition chimique et biologique.

La méthode que nous avons exposée s'inspire de ces considérations, pour la détermination du taux approximatif d'hypo-

chlorisation des eaux, c'est-à-dire de la quantité de chlore fixé, dans des conditions de dose moyenne initiale.

A l'appui de cette théorie, nous avons calculé expérimentalement le taux de chlore nécessaire à l'épuration d'eaux particulièrement souillées, dont l'analyse bactériologique et chimique avait relevé la composition et l'indice du chlore. Or, il est remarquable que la quantité de chlore nécessaire pour la disparition du *B. Coli*, considéré comme l'index d'une épuration suffisante, est, le plus souvent, voisine de l'indice de chlore; jamais elle n'a dépassé la valeur indiquée par l'indice de chlore. Celui-ci peut donc être choisi comme le chiffre maximum à adopter; et comme ce chiffre varie suffisamment avec la nature des eaux examinées, on peut le considérer comme un taux pratique d'hypochlorisation.

§ 2. — DÉTERMINATIONS EXPÉRIMENTALES

Voici quelques expériences qui confirment la valeur bactériologique de l'indice de chlore, tel que nous venons le définir.

D'abord une première série d'essais au laboratoire effectués sur une eau de bonne qualité, prélevée à Rieux (Oise) : indice de chlore 1,2; pas de *B. coli*. Plusieurs échantillons ont été additionnés en quantités variables de substances organiques (tannin) et d'émulsion de germes (*B. coli*) de telle sorte qu'ils présentent les caractéristiques suivantes :

L'action du chlore a été interrompue après 30 minutes par addition d'une solution stérile d'hyposulfite de soude, dont le titre correspondait sensiblement à celui de la liqueur chlorée.

Échantillon A. } *B. Coli* : 2.000 par litre.
 } Indice de chlore : 1,7.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
1 milligramme	+
1 mgr. 5	+
2 milligrammes	0

N.-B. — L'indice de chlore est assez faible, 1,7; la dose utile de chlore est suffisante avec 2 milligrammes.

Échantillon B. } *B. Coli* : 40.000 par litre.
 } Indice de chlore : 3,5.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
—	—
1 milligramme.	+
2 —	+
3 —	+
4 —	0

N.-B. — Une dose de 4 milligrammes a été suffisante, l'indice de chlore donnait 3,5.

Échantillon C. } *B. Coli* : 100.000 au litre.
 } Indice de chlore : 4,8.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
—	—
1 milligramme.	+
2 —	+
3 —	+
4 —	+
5 —	0

N.-B. — La disparition de *B. Coli* n'a été atteinte que par une quantité de chlore atteignant 5 milligrammes, chiffre voisin de celui de l'indice de chlore, 4,8.

Une semblable expérience a été effectuée sur une eau impure, celle de la rivière de l'Oise, à Compiègne.

1° Eau brute de l'Oise.

B. Coli : plus de 4.000 par litre.
 Indice de chlore : 4,3.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
—	—
0 mgr. 5	+
1 milligramme.	+
1 mgr. 5	0
2 milligrammes	0

N.-B. — Le *B. Coli* disparaît avec 1 mgr. 5, chiffre sensiblement le même que celui de l'indice de chlore.

2° Eau d'Oise additionnée d'infusion de thé.

B. Coli : plus de 4.000 par litre.
 Indice de chlore : 3.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
1 milligramme.	+
2 milligrammes	+
2 mgr. 5	+
3 milligrammes	0
3 mgr. 5	0

N.-B. — Même résultat satisfaisant.

Une eau distillée, riche en matières organiques (2 mgr. 6 en milieu acide) donnant un indice de Cl égal à 3,6, et additionnée de 100.000 *B. Coli* par litre n'a pu être épurée — disparition de ce germe — que par 4 milligrammes de chlore, les quantités correspondant à 1, 2, 3 milligrammes étant restées inefficaces en 30 minutes.

Nous donnerons maintenant quelques-uns des résultats fournis par des eaux d'alimentation recueillies dans des cantonnements et qui ont été épurées par l'hypochlorite, en fonction de l'indice de Chlore :

1° Puits de Royallieu (20 Août 1917).

Indice de chlore : 1,8.

B. Coli : plus de 1.000 par litre.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
1 milligramme.	+
1 mgr. 5	+
2 milligrammes	0
2 mgr. 5	0

2° Puits de Royallieu (6 Novembre 1917).

B. Coli : 250 par litre.

Indice de chlore : 1.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
0 mgr. 2	+
0 mgr. 4	+
0 mgr. 6	+
0 mgr. 8	0
1 milligramme.	0

N.-B. — Malgré la faible pollution (250 *B. Coli*) une dose de 0 mgr. 8 a été nécessaire. L'indice de chlore donnant 1, cette dose aurait épuré l'eau comme dans le cas précédent, à 0 mgr. 2 près par litre.

3° Montmacq (*Puits n° 1*).

B. Coli : 5.000 par litre.

Indice de chlore : 2,1.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
1 milligramme.	+
1 mgr. 5	+
2 milligrammes	0
2 mgr. 5	0

N.-B. — Une quantité voisine de l'indice de chlore 2 milligrammes a épuré l'eau.

4° Plessis-Brion (*Puits de l'Eglise*).

B. Coli : plus de 1.000 par litre.

Indice de chlore : 3,6.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
1 milligramme.	+
2 milligrammes.	+
2 mgr. 5	+
3 milligrammes	+
3 mgr. 5.	+
4 milligrammes	0

N.-B. — L'indice de chlore indiquait une dose de Cl utile supérieure à 3 mgr. 50.

5° Choisy-au-Bac (*Puits Ar...*).

B. Coli : plus de 1.000 par litre.

Indice de chlore : 1,4.

CHLORE AJOUTÉ PAR LITRE	<i>B. Coli.</i>
0 mgr. 5.	+
1 milligramme.	+
1 mgr. 5	0

N.-B. — La dose utile de chlore 1,5 est voisine de l'indice de chlore 1,4.

Terminons cette brève série d'exemples parmi de nombreux résultats tous aussi suggestifs, par les tableaux suivants où l'on suit les variations d'une eau très impure offrant un indice de chlore variable, ce qui explique les insuccès constatés lors de l'hypochlorisation où le même taux initial qui avait épuré l'eau a été conservé par la suite, malgré les variations de pollution.

**A. — Eau de Plessis-Brion (*Puits de l'Eglise*).
(Epurée dans des bidons en fer de 60 litres.)**

DATES DES EXAMENS	EAU BRUTE			EAU TRAITÉE		
	Indice de chlore.	<i>B. Coli.</i>	Bact. putrides.	Cl ajouté par litre. milligr.	<i>B. Coli.</i>	Bact. putrides.
5 septembre 1917.	2	10	0	2	0	0
7 novembre —	3	1.000	+	3	0	0
11 — —	4,2	1.000	+	3	1.000	+
21 — —	2,5	1.000	+	3	0	0
26 — —	2,9	1.000	+	3	0	0
8 décembre —	4,8	3.000	+	3	1.000	+
14 décembre —	3,8	10.000	+	3	10	+
18 janvier 1918 . .	2,9	1.500	+	3	0	0
6 février 1918 . .	2,7	3.000	+	3	0	0

N.-B. — L'épuration avec 2 milligrammes a été réalisée (indice de Cl=2); de même avec 3 milligrammes, le 7 novembre (indice Cl = 3); mais ce taux ayant été conservé, malgré l'augmentation de l'indice de Cl, l'eau est restée polluée: elle a été trouvée épurée le 18 janvier, l'indice de Cl ayant fléchi au-dessous de 3.

B. — Eau de l'Oise à Creil (*Usine des Eaux*).

DATES DES EXAMENS	EAU BRUTE			EAU TRAITÉE		
	Indice de chlore.	<i>B. Coli.</i>	Bact. putrides.	Cl ajouté par litre. milligr.	<i>B. Coli.</i>	Bact. putrides.
21 août 1917 . . .	2,2	Plus de 1.000.	+	2	100	+
17 septembre 1917.	2,3		+	2	100	+
8 novembre 1917.	2,6		+	2,5	100	+
30 janvier 1918 . .	2,8		+	3	0	0
8 février 1918 . .	2,7		+	3	0	0

N.-B. — L'épuration n'a pu être obtenue qu'avec une dose de Cl égale ou supérieure à l'indice de chlore.

Au cours de ces examens, nous avons pu vérifier que des doses de chlore, capables de donner, après un contact d'une demi-heure dans les eaux traitées une coloration bleue avec le réactif du chlore libre (solution d'iodure-amidon), ne sont pas suffisantes pour amener la disparition du *B. Coli*. Cette réaction, lorsqu'elle est positive, est souvent présentée comme donnant une indication du chiffre de chlore nécessaire pour l'épuration de l'eau (Ottolenghi). Ces quantités de chlore libre, qui n'ont pas réagi sur les substances réductrices de l'eau, ne sont pas en quantité suffisante pour agir efficacement sur les germes. La dose de chlore utile sera toujours atteinte, si l'on adopte pour taux d'épuration la quantité donnée par l'indice de chlore, calculé comme nous l'avons dit. Le critérium de la coloration bleue donnée par le chlore en dehors de toute méthode, est trop infidèle; la détermination de l'indice de chlore comporte toute sécurité.

TROISIÈME PARTIE

CONSIDÉRATIONS SUR L'ÉPURATION DES EAUX AUX ARMÉES PAR LE CHLORE

I. — L'HYPOCHLORISATION EST UN PROCÉDÉ DE FORTUNE

L'épuration des eaux d'alimentation aux armées ne pouvait être effectuée d'une façon systématique qu'au moyen d'une méthode à la fois efficace, rapide, commode, économique, ne modifiant pas les caractères organoleptiques de l'eau potable. C'est le chlore sous la forme des hypochlorites qui répond le mieux, en théorie — et la pratique confirme cette manière de voir — à ces exigences.

Il est facile en effet, lorsqu'il s'agit d'une distribution urbaine, ainsi qu'on l'a pratiqué dès le début dans de nombreuses villes des Etats-Unis d'Amérique, d'appliquer cette méthode dans les meilleures conditions possibles. Le chlore comme l'ozone ou les rayons ultra-violets, n'agit bien que sur les eaux limpides : on fera donc choix d'eaux claires ou rendues telles par une pré-filtration sur un lit de sable, ou après coagulation des substances étrangères par l'alun ou la chaux; puis par des études préliminaires au laboratoire, il sera possible de calculer la quantité optima de Cl nécessaire à la disparition du *B. Coli* et des bactéries putrides, de suivre cette épuration, de la contrôler et d'améliorer, si c'est nécessaire les qualités de l'eau intéressant l'odorat et le goût.

Mais on voit tout de suite que l'emploi du Cl, dans ces conditions, ou bien ne constitue pas un avantage sur d'autres

méthodes d'épuration utilisant des filtrations ou bien suppose le choix d'une eau limpide. De plus, il nécessite des examens bactériologiques et une surveillance vigilante.

Aux armées, où les troupes nombreuses s'échelonnent en longueur ou en profondeur sur des zones constituées le plus souvent par des petits villages ou des campagnes sans points d'eau bien limités (sources, rûs, rivières), le problème apparaît tout différent. La multitude des eaux d'alimentation offrent une origine, une nature, des qualités extérieures des plus variées et si des analyses sûres ne permettent pas le choix lorsque celui-ci est possible, il y a lieu, dès lors, de les frapper de suspicion *a priori*, dans la très grande généralité et de ne les consommer qu'après épuration.

L'emploi du chlore est évidemment un procédé de fortune qu'impliquent les nécessités de la guerre et dont il va falloir diminuer ou supprimer les inconvénients. Ceux-ci, si l'on fait abstraction de la valeur bactériologique du chlore et des hypochlorites, peuvent se ramener à deux :

1° l'un, d'ordre négatif : le chlore n'agit pas sur la turbidité de l'eau et ne modifie ni sa coloration ni son mauvais goût. Ceci suppose un choix préalable parmi les eaux à traiter ;

2° l'autre d'ordre positif : il peut communiquer à l'eau une odeur et un goût particuliers, en raison de la difficulté apparente dans le dosage de la quantité de chlore utile à ajouter à des eaux de composition très variable. Là encore, il sera nécessaire d'observer certaines conditions dans la pratique de l'hypochlorisation.

Faisons cependant cette première remarque, qui est d'une importance capitale : si l'on avait eu garde de ne pas employer cette expression d'« eau javellisée » et qu'on eût pris soin d'utiliser les hypochlorites avec plus de discernement et de discrétion, on n'aurait pas eu à vaincre la répugnance du soldat. L'expérience que nous avons acquise, à ce sujet, est intéressante à signaler : chargé pendant la saison d'été de 1916 d'installer la distribution d'eau potable dans les cantonnements des bataillons d'instruction d'une armée, avec des moyens de fortune (tonneaux

usagés contenant l'eau « bonne à boire »), nous avons réussi à la faire accepter volontiers de la troupe, et des gradés nous ont eux-mêmes remercié.

II. — NÉCESSITÉ DU CHOIX DES EAUX A ÉPURER

Dans un cantonnement où il existe plusieurs points d'eaux, — ou lorsqu'il s'agit du choix pour un captage entre les échantillons de plusieurs forages, — il importe de rejeter les eaux troubles chargées en matières organiques : l'action bactéricide du chlore se trouvera entravée si l'eau renferme des substances solides en suspension, pouvant englober des germes ou s'opposer par leur présence à l'action élective du chlore sur les bactéries.

Si pourtant, en dépit de la turbidité, le chlore a réalisé une réelle épuration de l'eau, son action sur les composés organiques engendre des chloramines d'odeur légèrement iodoformée qui rendent l'eau désagréable à boire.

C'est au permanganate et à l'alun qu'il est préférable de s'adresser pour épurer certaines eaux colorées par des substances organiques à goût et odeur de tourbe.

Mais la plupart du temps il a été possible aux armées de recourir à des eaux suffisamment limpides et d'utiliser le chlore sous des formes que nous allons très sommairement indiquer.

III. — DES DIVERS PRODUITS CHLORÉS UTILISÉS

Les armées alliées emploient ordinairement le *chlorure de chaux* : c'est une poudre blanche qui renferme environ à l'état d'hypochlorite de calcium, 33 à 35 p. 100 de chlore actif et qui offre l'avantage d'occuper un volume réduit et de permettre des expéditions faciles en récipients non fragiles.

Ce produit contient toujours de 6 à 7 p. 100 de chaux vive et ne se prête pas à une solution totale : il doit être réduit en pâte et additionné d'eau progressivement. Sec, il absorbe la vapeur d'eau de l'atmosphère lorsqu'il reste à l'air libre et s'altère ; bien

bouché, il perd néanmoins de 3 à 7 p. 100 de Cl dans l'espace de quelque mois; aux colonies, cette perte peut s'élever jusqu'à 25 p. 100 (HORROCK). Bref, le chlorure de chaux manque d'homogénéité et de stabilité.

On l'utilise en poudre, renfermée dans de petits tubes scellés, dont on verse le contenu (soit 1 gr. 63) dans 225 litres d'eau (Armée Américaine) ou bien simplement en paquets de 1 gr. 50 en papier parcheminé (1 gr. 50) destinés à 100 litres d'eau (Armée Italienne). Ce procédé n'est pas exempt de critique : le chlorure de chaux, ne se dissolvant pas entièrement, des parcelles de chaux flottent dans l'eau et impressionnent fâcheusement le consommateur. OTTOLENGHI fait ajouter un paquet d'alun de 2 grammes et recommande des doses répétées pour les eaux très polluées, l'excès de chlore étant détruit par l'addition, un quart d'heure après, d'un paquet d'hyposulfite de soude de 3 grammes. Mais ces manipulations successives compliquent une opération qui parfois doit être rapide.

VINCENT et GAILLARD ont préconisé l'emploi de petits comprimés d'un mélange de chlorure de chaux et de chlorure de sodium correspondant à 3 milligrammes de chlore. Ils se désagrègent assez facilement dans l'eau, après un contact de vingt à trente minutes et restent relativement stables. Mais ils sont d'un usage plutôt individuel et n'échappent pas entièrement à la critique précédente, de n'être pas entièrement solubles.

C'est généralement sous forme de solution à 2 p. 100 (soit 6 à 7 grammes de Cl par litre) que le chlorure de chaux est employé pour être mêlé à un grand volume d'eau par brassage mécanique (voitures à eau, truck-citerne) ou incorporé dans des réservoirs au moyen d'un mélangeur automatique. Il n'y a pas intérêt à utiliser une liqueur plus concentrée, celle-ci étant moins stable. Au reste, cette teneur suffit dans la pratique; en ajoutant 150 centimètres cubes de solution à 1 mètre cube d'eau on l'additionne ainsi de 1 milligramme de Cl environ.

Le *chlore gazeux* que l'on tend depuis plusieurs années à substituer au chlorure de chaux a été également utilisé dans

certaines formations alliées. L'emploi direct du gaz chlore ne communiquerait pas à l'eau le goût désagréable que l'on reproche parfois aux hypochlorites. Dès 1912, NESFIELD (1) en préconise l'usage sous forme de chlore liquide dont l'excès est neutralisé par l'hyposulfite de soude. HARPER NELSON (2) utilisait en 1915 un petit appareil qui produisait le chlore par l'action de l'acide chlorhydrique sur le chlorate de potassium. Dans les armées belge et britannique, des camions-autos pour le transport de l'eau étaient munis d'appareils à chlore liquide qui, manœuvrés par un simple robinet à pointeau, donnaient selon les indications du manomètre, la quantité de chlore nécessaire.

Des trains citernes d'eau chlorée, pourvus de laboratoires et de pompes ont été également utilisés dans les secteurs britanniques. PERKINS (3) estime que le Cl gazeux est d'une activité moindre, sans doute parce que son mélange à l'eau est moins intime qu'une solution liquide. C'est là, semble-t-il, un moyen qui soit surtout à employer pour les grandes agglomérations, à la suite d'expériences de contrôle qui permettent d'en juger l'efficacité comme l'usage s'en répand depuis quelques années aux Etats-Unis (4). L'emploi d'appareils spéciaux compliquerait le mode d'épuration des eaux que nous avons expérimenté aux armées pour les petites collectivités.

Sur le Front Français, c'est l'*hypochlorite de soude* du commerce, vulgairement appelé « Extrait de Javel » que l'on a employé presque exclusivement : cet extrait liquide qui renferme de 6 à 8 p. 100 de chlore se présente sous la forme d'une solution limpide, légèrement verdâtre, d'odeur plus ou moins chlorée; elle offre l'avantage d'être directement miscible à l'eau et d'éviter ainsi toute préparation préalable. Elle conserve sa stabilité, lorsqu'elle est renfermée dans des touries ou fioles bien bouchées, de préférence au caoutchouc, pour éviter que des

(1) *Jl. Of the Roy. Army Med. Corps*, Mai 1912.

(2) *The British med. Journal*, 8 Mai 1915.

(3) *The Sanitary Record*, 1911, p. 597.

(4) Cf. EDWARD BASTON et R. LEGENDRE, *Revue d'Hygiène et de Police Sanitaire*, 1918, p. 1.

débris de liège ne souillent le liquide et provoquent son altération.

C'est à l'emploi d'extraits préparés avec des lessives très impures que serait due en partie l'odeur et le goût tenaces qu'acquièrent certaines eaux traitées parfois par des quantités très faibles (0 mgr. 5 de Cl). SCHWARZ et NACHTIGALL en Allemagne, SHENTON en Amérique, ont préconisé les hypochlorites électrolytiques, dont le pouvoir bactéricide serait doublé et qui ne renferment pas les impuretés des hypochlorites chimiques. A défaut de solutions de chlorure de chaux, difficiles à préparer extemporanément par un personnel non préparé et qui gardent difficilement leur limpidité (action de CO_2 de l'air), on utilisera de préférence un hypochlorite préparé par double composition; en employant, par exemple (1), les proportions suivantes :

Chlorure de chaux sec.	2 kilogrammes.
Carbonate de soude sec Solvay. . .	1 kgr. 500.
Eau	Q. S. pour 20 litres.

On fait un lait de chlorure de chaux homogène avec la moitié de l'eau, on le verse dans une tourie de verre, on ajoute ensuite la solution de carbonate. On agite à plusieurs reprises, on décante et l'on filtre. On obtient ainsi un liquide presque incolore, d'odeur atténuée, contenant de 20 à 25 grammes de Cl par litre (selon le titre du chlorure de chaux), conservant sensiblement son titre pendant plusieurs mois.

Nous l'avons préparé en grandes quantités aux armées et utilisé avec avantage dans les cantonnements : une dose de 3 à 4 milligrammes par litre n'était pas perçue lorsqu'on l'ajoutait à une eau de qualité moyenne.

Lorsque cette solution d'hypochlorite est titrée à 20 grammes de Cl par litre, ce que l'on obtient en la diluant légèrement, elle est telle que le chiffre de l'indice de chlore indique le nombre de gouttes à ajouter à 1 litre d'eau; si, par exemple, une eau a un indice de chlore de 1,7, il faudra ajouter 17 gouttes de la solution à 10 litres d'eau.

(1) V. S. COSTA et H. PECKER. *C. R. Soc. Biologie*, T. LXXXI, n° 1, 12 janv. 1918.

IV. — CONDITIONS NÉCESSAIRES POUR UNE BONNE ÉPURATION

Parmi les reproches que l'on a faits à ce mode d'épuration, il a beaucoup été insisté sur la nature du récipient où s'effectuait l'épuration de l'eau. Nous ne croyons pas cependant qu'il faille y attacher autant d'importance. Si l'on admet que l'eau potable doit conserver ses caractères extérieurs favorables, limpidité, fraîcheur, absence de goût et d'odeur particuliers, il est bien évident qu'elle doit être renouvelée chaque jour, et que sa conservation pour une si petite durée peut tout aussi bien être assurée dans des tonneaux en bois (1) ou dans des récipients métalliques, dans des fontaines en ciment ou dans des réservoirs en toile imperméable. Il y a là bien plutôt une question d'opportunité à régler qu'un principe bon ou mauvais à appliquer ou à écarter.

Pour éviter les insuccès dûs au mauvais goût que les hypochlorites apportent aux eaux même à des doses très faibles, il y a donc lieu, en résumé :

1° de faire un choix parmi les eaux à épurer, en n'utilisant que les eaux limpides, à l'exclusion des eaux de surface très souillées qui devraient subir une préfiltration ;

2° de proportionner la dose de Cl utile à la composition de l'eau, en la calculant par notre méthode de détermination de l'indice de chlore ;

3° d'utiliser des solutions d'hypochlorite de soude titrées, préparées à l'avance par double décomposition, à défaut de la solution à 2 p. 100 de chlorure de chaux ;

4° d'effectuer l'addition de l'hypochlorite au moyen d'un brassage énergique de l'eau et du produit épurant (appareils mélangeurs, tels que cônes de Venturi sur les conduites d'amenée ; siphon de Mariotte ou trompe d'aspiration, turbine à eau,

(1) Avec cette précaution tout au moins que le fût propre devra être chaque fois rincé et non brossé. Cf. *Rapport sur les expériences de javellisation d'eau effectuées en Argonne*. Paris, Imprimerie Nationale, 1916.

fonctionnant synchroniquement avec le déversement de l'eau dans le récipient);

5° de procéder à l'épuration quotidienne de l'eau, en vidant le contenu non utilisé des récipients (tonneaux de bois, bidons de fer blanc, réservoirs en ciment, tonnes métalliques des postes de chargement ou des voitures, récipients en toile imperméable, etc...)

CONCLUSIONS

Les conditions exceptionnelles de la guerre de stationnement (1914-1918) ont permis aux Laboratoires d'Armée d'étudier d'une façon toute spéciale l'important problème d'hygiène que soulèvent la valeur intrinsèque de l'eau et son utilisation dans l'alimentation des collectivités.

A. — Le Laboratoire d'Armée N° 6, qui dut stationner pendant presque toute la campagne dans la région Aisne-Oise-Somme, a procédé à l'étude systématique des ressources hydriques de cette zone; en multipliant les analyses au double point de vue bactériologique et chimique, il a non seulement dressé comme le cadastre hydrologique de plusieurs départements du front, mais en outre il a apporté sur l'interprétation des analyses d'eau des vues intéressantes.

Le terrain parisien, qui constitue le sous-sol des régions que nous avons étudiées, comporte une nappe aquifère très abondante, mais relativement superficielle (de 10 à 80 mètres de profondeur) à laquelle s'alimente la presque totalité des puits et fontaines des villes et villages. Pour de telles eaux, l'analyse révèle d'ordinaire une composition chimique très variable et dont l'étude des résultats ne comporte pas de conclusion facile. La lecture comparative des chiffres fournis par ces analyses ne renseignera guère que sur la valeur filtrante du terrain d'émergence et la proximité de pollutions animales. Nous pensons qu'il est imprudent de baser sur la proportion des *chlorures* ou de la *matière organique* la potabilité d'une eau, car souvent des chiffres fort élevés de ceux-ci s'accordent avec une teneur bactérienne acceptable et *vice-versa*. L'analyse chimique est un guide, non un critérium, si l'on fait exception de quelques rares

échantillons d'eaux profondément souillées (eaux chargées de nitrites, d'ammoniaque, de substances organiques).

B. — Cependant il est possible d'épurer toutes ces eaux par le chlore des hypochlorites, c'est-à-dire non pas de les stériliser effectivement, mais de les priver des germes pathogènes, de ceux dont la présence seule est dangereuse. Cette quantité de chlore, que l'on ajoutait la plupart du temps en dose uniforme à toutes les eaux, ou que l'on déterminait de manière empirique, pourra être calculée par une méthode très simple, une recherche chlorométrique, dont nous avons exposé la discussion chimique et bactériologique. Nous l'avons nommée *Indice de chlore* et nous avons montré quelle était sa valeur hydrologique comme constante de l'eau examinée et sa valeur *bactériologique*, envisagée comme taux pratique de son hypochlorisation : le chiffre de l'indice de chlore exprime en milligrammes par litre la quantité de chlore susceptible de la rendre potable.

La recherche de l'indice de chlore devra être effectuée pour toute eau à analyser, car elle donne d'emblée, en l'absence ou dans l'attente d'une analyse bactériologique, la quantité de chlore nécessaire et suffisante à l'épuration préventive.

C. — Cette opération gardera toute sa valeur, si l'on a soin de n'utiliser que des eaux limpides, de préférence peu chargées en matières organiques, d'employer une solution stable et titrée d'hypochlorite de soude préparée à partir du chlorure de chaux, et d'observer certaines conditions parmi lesquelles la conservation au delà de 24 heures, en quelque récipient que ce soit, doit être proscrite.

Vu : bon à imprimer
Le Président de thèse,
DÉLÉPINE

Vu : Le Doyen de la Faculté,
H. GAUTIER

Vu et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de Paris.
P. APPELL

Imprimerie ERNEST DESSAINT. — Coulommiers. — 6-21.
